

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma
Auto- ja työkonetekniikka

Opinnäytetyö

Moottoritehodynometrilaitteisto opetuskäytössä

Heikki Pirinen

Työn ohjaaja
Työn valvoja
Työn teettäjä
Tampere 2009

Tekniikan Lisensiaatti Tauno Kulojärvi
Laboratorioinsinööri Jari Seppälä
TAMK Autolaboratorio

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Auto- ja työkonetekniikka

Pirinen Heikki

Moottoritehdynamometrilaitteisto opetuskäytössä

Tutkintotyö

70 sivua + 7 liitettä

Työn valvoja

Tekniikan Lisensiaatti Tauno Kulojärvi

Työn teettäjä

TAMK autolaboratorio

Toukokuu 2009

Hakusanat

dynamometri, moottoritekniikan laboratorioharjoitukset,
moottoritekniset mittaukset

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli jatkaa vuoden 2007 aikana aloitettua moottoreiden suorituskyvyn mittaukseen tarkoitettua dynamometrilaitteiston käyttöönottoprojektia. Projekti on suoritettu Tampereen ammattikorkeakoulun autolaboratoriolle. Työn ensimmäisenä tehtävänä oli ratkaista ongelmat, jotka estivät dynamometrilaitteiston käytön aiemmin. Ongelmien ratkaisun jälkeen keskityimme tärkeimpiin työtehtäviin. Tärkeimmät työtehtävät olivat dynamometrilaitteiston riskianalyysi, käyttäjäturvallisuuden parantaminen ja työohjeiden laatiminen moottoritekniikan laboratoriotöiden suorittamiseksi.

Ongelmat pyrittiin ratkaisemaan ohje- ja tutkimuskirjallisuuden avulla, joista hankittua tietoa on sovellettu käytäntöön. Myös aikaisempaa moottoreiden koekäyttäjän työtehtävissä hankittua työkokemusta on hyödynnetty tätä työtä suoritettaessa.

Työn tärkeimmät tulokset olivat riskianalyysi ja -matriisi, turvallisuus- ja työohjeet. Tulevaisuutta varten on käsitelty myös joitain dynamometrilaitteiston jatkokehitysnäkökulmia, sekä laadittu huolto-ohjeet laitteiston osakokonaisuuksille.

Työn tarkoituksena on toimia apuna kaikille henkilöille, jotka työskentelevät dynamometrilaitteistolla. Tärkeimpiä heistä ovat opiskelijat, jotka suorittavat laboratoriotöitä dynamometrilaitteistoa apuna käyttäen.

TAMPERE POLYTECHNIC

Automobile- and Transport Engineering

Automobile- and Industrial Vehicle Engineering

Pirinen Heikki Engine dynamometer in educational use

Engineering Thesis 70 pages + 7 appendix

Thesis Supervisor Phl Tauno Kulojärvi

Comissioning company TAMK University of Applied Sciences

May 2009

Keywords Dynamometer, Engine techniques laboratory exercises, measuring power

ABSTRACT

The aim of this engineering thesis was to be continuing of a dynamo-project that was started in year 2007, and it is made for mobile laboratory of Tampere University of Applied Sciences. At first, our job was solving the problems that disabled usage of dynamometer. After that we could focus our primary work processes. Those processes were risk analysis and –matrix of the equipment, safety instructions for students and other users. Modifications for improved safety of dynamometer equipment and work instructions for laboratory course were also our main goals. I have also told about some possibilities for improvement of dynamometer equipment, and made service instructions for different partial areas of equipment.

Purpose of this thesis is to be basic guideline for students and other people, who will work with dynamometer equipment.

ALKUSANAT

Haluan kiittää kaikkia työssä avustaneita henkilöitä, samoin kuin projektin parissa aikaisemmin työskennelleitä henkilöitä. Haluan myös kiittää Agco Sisu Powerin työntekijöitä, jotka ovat auttaneet työn läpiviennissä sekä opettaneet järjestelmän käytön ja sen toimintaperiaatteet.

Kiitokset kuuluvat myös Tampereen ammattikorkeakoulun opettajista Tauno Kulojärvelle ja Pekka Hjonille, jotka ovat ohjanneet työtä oikeaan suuntaan töiden aikana. Kiitos Myös laboratorioinsinööri Jari Seppälälle, joka on toiminut apuna dynamometrilaitteiston kehitykseen liittyviä käytännön työvaiheita suoritettaessa.

Lopuksi haluan osoittaa suurimmat kiitokseni äidilleni Annelille. Ilman hänen tukeaan ja lisäopetusta opintojen alkuvaiheessa tuskin olisin saanut opintojani ajallaan päätökseen.

Kiitos!

Tampereella 23. toukokuuta 2009

Heikki Pirinen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO JA TEHTÄVÄN MÄÄRITTELY	6
2 MOOTTORITEHDYDYNAMOMETRIN KÄYTTÖÖNOTTO JA HUOLTO	7
2.1 Dynamometrin käyttöönottovaiheessa kohdatut ongelmat	7
2.2 Kalibroituvälaineiden valmistus ja käyttö	9
2.3 Mittausantureiden asennus	13
2.4 Dynamometrilaitteiston huolto-ohjeet	15
3 VAARATEKIJÖIDEN KARTOITTAMINEN JA RISKIANALYYSI	16
3.1 Riskianalyysin periaate	16
3.2 Palovaarat	20
3.3 Sähkökäytöstä aiheutuvat vaarat	23
3.4 Roiskuvien nesteiden aiheuttamat vaarat	24
3.5 Irtoavien osien aiheuttamat vaarat	24
3.6 Melun aiheuttamat haitat	24
3.7 Riskimatriisi ja lopputulokset	24
4 TURVALLISUUSVAATIMUKSET JA TURVALLISUUSOHJE	25
4.1 Turvallisuusvaatimukset ja niiden saavuttaminen	25
4.1.1 Palovaarojen aiheuttamien vammojen estäminen	27
4.1.2 Sähkökäytön aiheuttamien vammojen estäminen	29
4.1.3 Roiskuvien nesteiden aiheuttamien vammojen estäminen	29
4.1.4 Irtoavien mekaanisten osien aiheuttamien vammojen estäminen	29
4.1.5 Melun aiheuttamien vammojen estäminen	30
4.1.6 Yhteenveto laitteiston turvallisesta käytöstä	31
5 TYÖOHJEET	38
5.1 Moottorin vääntömomentti- ja tehokuvaajien määrittäminen, kuormitustilojen tutkiminen	38
5.2 Moottorin hyötysuhteen ja polttoaineen ominaiskulutusdiagrammin määrittäminen	43
5.3 Moottorin pakokaasupäästöjen vähentäminen moottorinohjausjärjestelmän avulla	50
6 TEHDYDYNAMOMETRILAITTEISTON JATKOKEHITYSIDEAT JA MAHDOLLISUUDET	53
6.1 Moottoritehdynamometri laitteistoon liittyvät toimenpiteet	53
6.1.1 Moottoritehdynamometrilaitteiston ohjaaminen tietokoneen avulla	53
6.1.2 Laitteiston sijoittaminen Is-konttiin	55
6.1.3 Laitteiston sijoittaminen rakennuksessa olevaan tilaan	56
6.2 MOOTTORIIN LIITTYVÄT TOIMENPITEET	60
6.2.1 Moottorin turboahtaminen	60
6.2.2 Säädetty nokka-akselin ajoitus	67
6.2.3 Vaihtoehtoiset moottorit	67
7 YHTEENVETO	69

LÄHDELUETTELO

LIITTEET

1 JOHDANTO JA TEHTÄVÄN MÄÄRITTELY

Tampereen ammattikorkeakoulun autolaboratorion moottoreihin liittyvän käytännön opetuksen toteutus on vuosia ollut puutteellisempaa, verrattuna siihen, millä tasolla se on joskus ollut.

Tämä on johtunut siitä, ettei moottorin kuormituksen alaista toimintaa ole voitu havainnollistaa käytännön opetuksen yhteydessä. Moottorinohjausjärjestelmien toiminnan tutkiminen on järjestetty aiemmin kahden henkilöauton avulla, joista toinen on varustettu Otto-moottorilla ja toinen Diesel-moottorilla.

Koska laboratoriossa ei ole alustatehodynamometriä, on toiminnan tutkiminen jouduttu rajoittamaan siten, että on tutkittu vain moottorin pyörimisnopeuden vaikutusta moottorinohjausjärjestelmän toimintaan. Moottorin kuormitusasteen vaikutusta moottorinohjausjärjestelmän toimintaan ei ole voitu tutkia. Moottoritehodynamometriin kytketyn moottorin avulla voidaan tutkia myös moottorinohjausjärjestelmän kuormituksen alaista toimintaa. Tutkittava moottori on myös varustettu täysin säädettävällä moottorinohjausjärjestelmällä, jonka avulla voidaan havainnollistaa ohjausparametrien arvojen vaikutusta moottorin toimintaan eri osa-alueilla.

Työtä aloitettaessa ongelmina olivat dynamometrilaitteiston puutteellinen toiminta kahdella eri osa-alueella. Myös käyttöön liittyviä riskejä ei ollut kartoitettu, eikä minkäänlaisia turvallisuusohjeita ollut laadittu. Työohjeet opiskelijoiden moottoritehodynamometrillä suoritettavaan laboratoriotyöskentelyyn puuttuivat myös.

Työn tavoitteena oli ratkaista edellä esitetyt ongelmat ja puutteet. Laitteiston puutteellinen toiminta pyrittiin korjaamaan siten, että laitteistoa voidaan käyttää ongelmitta opetuskäytössä.

Riskianalyysia ja turvallisuusohjetta varten selvitettiin dynamometrilaitteistossa olevat riskitekijät, millaisia seurauksia ne aiheuttaisivat toteutuessaan ja kuinka niiden vaikutus olisi estettävissä siten, ettei laitteiston käytöstä aiheudu vaaraa käyttäjälle tai muille samassa tilassa työskenteleville henkilöille.

Työohjeita laadittaessa tavoitteena oli tehdä mahdollisimman kattavat ja helppokäyttöiset ohjeet, joiden avulla työskentely olisi mahdollisimman hyvin teoriaopetusta täydentävää ja vastaisi työelämän tarpeita.

Työtä suoritettaessa tutkittiin myös mahdollisuuksia dynamometrilaitteiston jatkokehitystä ajatellen. Tavoitteena oli miettiä millaisilla muutoksilla dynamometrilaitteistoa voitaisiin parantaa siten, että sillä suoritettava työskentely olisi entistä paremmin moottoritekniikan opiskelua täydentävää ja turvallisempaa.

Työtä suoritettaessa jätettiin käsittelemättä laitteiston eri osa-alueiden tarkemman toiminnan ja toimintaperiaatteiden esittely. Lisäksi laitteiston kokoonpanoa ei ole käsitelty muuten kuin siihen kohdistuneiden muutoksien osalta.

Dynamometrilaitteistosta on aikaisemmin tehty seuraavat neljä opinnäytetyötä:

- Henri Ekola: Rungon suunnittelu EC 38 TD-dynamometrille ja jäähdytysjärjestelmän esisuunnittelu, 2007.
- Jari Savolainen: Dynamometrin LabView-ohjauksen suunnittelu, 2007.
- Panu Vidqvist: Moottoridynamometrin ohjausyksikön päivitys ja testaus, 2008.
- Tuomas Manninen: Bensiinimoottorin koekäyttövarustelu ja säädettävä moottorinohjausjärjestelmä, 2008.

Edellä luetelluissa töissä on selostettu selkeästi dynamo-projektin alkuvaiheet, laitteiston kokoonpano, ongelmat ja myös esitetty joitakin jatkokehitysnäkymiä. Yleisesti ottaen työtä suoritettaessa jätettiin käsittelemättä edellä mainituissa töissä käsitellyt aiheet.

2 MOOTTORITEHODYNANOMETRIN KÄYTTÖÖNOTTO JA HUOLTO

2.1 Dynamometrin käyttöönottovaiheessa kohdatut ongelmat

Dynamometrilaitteisto on koottu vuoden 2007 aikana, mutta siinä oli muutamia vikoja. Nämä viat oli korjattava ennen kuin parannustoimenpiteitä, riskikohteita, turvallisuus- ja työohjeita päästiin selvittämään ja suorittamaan. Merkittävimmät ongelmat työn alkuvaiheessa olivat:

- moottorin pyörimisnopeussäätimen virheellinen toiminta

- dynamometrin ohjausyksikön kalibrointi
- dynamometrin jarrumomentin ohjaus

Aloitimme työt ohjausyksikön kalibroinnin suorittamisella. Se onnistui ensimmäisellä yrityksellä. Kalibrointia käsitellään seuraavassa luvussa tarkemmin. Moottorin pyörimisnopeussäätimen toiminnassa oli enemmän ongelmia, joiden ratkaisu vei paljon työaika. Jostain syystä moottorin pyörimisnopeussäätimen johtojen napaisuuden kääntäminen aiheutti ilmeisesti virtapiikin, mikä johti muutamien transistorien rikkoutumiseen virtalähteen piirilevyllä. Johtojen napaisuuden vaihto oli käyttöohjeissa esitetty toimenpide, mikäli pyörimisnopeussäätimen moottori toimisi väärinpäin ohjaukseen nähden.

Saimme tässä vaiheessa apua asiantuntevalta henkilöltä ja piirilevyllä olleet komponentit saatiin vaihdettua. Tämän korjauksen jälkeen emme kuitenkaan saaneet laitteistoa toimimaan halutulla tavalla ja laitteisto ilmoitti sähkömoduulissa olevasta viasta. Yritimme etsiä kaikki sulakkeet tarkoituksena varmistua niiden olevan ehjiä ja vaihdoimme palaneet sulakkeet ehjiksi. Seuraavaksi tutkimme piirikaavioiden avulla sähkömoduulissa olevien sammutuslenkkien kytkennät ja selvittää syyn virheilmoitukselle. Sammutuslenkkien tarkoituksena on suojata dynamometriä vaurioilta huolimattoman käytön seurauksena ja siihen kuuluu seuraavia tunnistimia:

- jäähdytysveden virtausvahti
- jäähdytysveden painetunnistus
- laakerien lämpötilatunnistus

Saimme selville kaikkien edellä mainittujen lenkkien olevan samassa liittimessä, ja että tieto dynamometrin ohjainlaitteelta menee yhden liittimen kautta sähkömoduulille. Liitin on 9-napainen D-liitin, jonka pinneihin 1 ja 9 on kytketty sammutuslenkille saapuva ja lähtevä signaali. Muut pinnit ovat sammutuslenkkien käytössä. Seuraavaksi kytkimme pinnit 1 ja 9 yhteen ja näin ohitimme koko sammutuslenkkiketjun. Tällä tavoin saimme ohjainlaitteen tilaan, jossa virheilmoitusta ei ilmennyt.

Kokeilimme dynamometrin käyttöä uudelleen, mutta emme pystyneet kuormittamaan moottoria. Jostain syystä dynamometrin herätekkämeille ei mennyt virtaa, eikä jarrumomenttia muodostunut. Tässä vaiheessa olimme lähes varmoja siitä, että laitteistossa on vika, minkä korjaamiseen taitomme eivät riitä. Huomasimme kuitenkin sähkömoduulin virtapiirillä kaksi sulaketta, jotka olivat muihin sulakkeisiin verrattuna eri tavoin koteloidut. Niistä toinen oli

palanut. Vaihdoin sulakkeen ja tämän jälkeen dynamometrillä oli mahdollista kuormittaa moottoria.

Tämän jälkeen keskityimme moottorin pyörimisnopeussäätimen käyttöönottoon seuraamalla alkuperäisiä ohjeita. Käymällä ohjeet kohta kohdalta läpi, saimme säätimen toimimaan toiseen suuntaan. Työvaihetta suorittaessamme kohtasimme saman ongelman kuin aiemmin, eli säätimen moottori pyörii väärään suuntaan ohjaukseen nähden. Tämän seurauksena säädin ei vedä kaasuvaijeria haluttuun suuntaan. Vaihtoehtoista ainoa oli moottorin napaisuuden kääntäminen ja nyt se onnistui ilman piirilevyn komponenttien vaurioitumista. Jälkeenpäin olemme miettineet syytä tähän, ja päädyimme siihen tulokseen, että piirikortilla olevien trimmerien säädöt ovat olleet niin pielessä, että piirilevyllä on kulkenut niin suuri virta, että se on sulakkeista huolimatta ehtinyt polttaa aiemmin mainitut transistorit. Piirilevyllä ja apukortilla on näiden virtojen säätämistä varten samalla VR-alkuisella tunnuksella merkityt trimmerit. Jossain vaiheessa työsuoritusta on ilmeisesti säädetty väärä trimmereitä, minkä seurauksena tällainen vian aiheuttaja on ollut mahdollinen.

Tässä vaiheessa saimme moottorin pyörimisnopeussäätimen toimimaan oikein, ja se toimi moottorin ohjainlaitteen ohjauksen mukaisesti vetävään suuntaan. Jostain syystä ohjausta toiseen suuntaan ei tapahtunut, emmekä vieläkään ole keksineet mistä tämä johtuu. Kaasuvivun saa käännettyä takaisin 0-asentoonsa, kunhan ensin asettaa kaasuläpän avautuma pyynniksi 0 %. Ratkaisimme ongelman laittamalla kaasuvivun yhteyteen riittävän jäykän palautusjousen, minkä avulla kaasuvivun toiminta saatiin sellaiseksi, ettei se häiritse moottorin testausta. Moottorin pitäisi toimia molempiin suuntiin sähköisellä ohjauksella, muttemme ole saaneet mistään selville, mistä tällainen vika voisi aiheutua. Moottorin pyörimisnopeuden säätö toimii muutenkin riittävän hyvin tällä hetkellä, joten siirsimme ongelman tulevaisuudessa ratkaistavaksi.

2.2 Kalibrointivälineiden valmistus ja käyttö

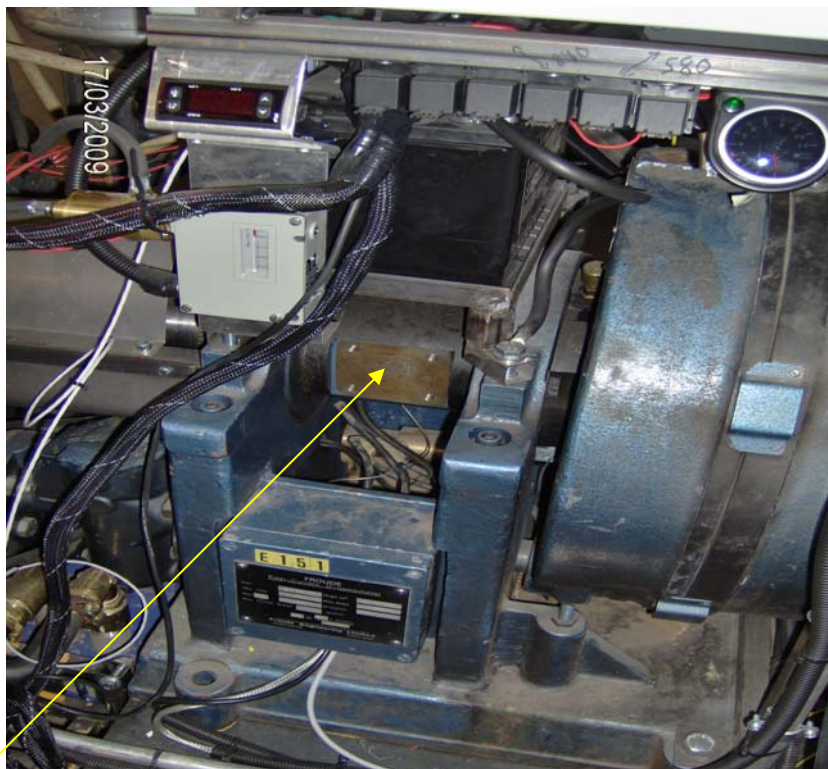
Jotta moottoritehodynamometrin käyttö ja päätarkoituksena oleva vääntömomentin ja sitä kautta tapahtuvan tehonmittauksen tulos olisi luotettava, pitää järjestelmä kalibroida säännöllisin väliajoin luotettavilla mittavarsilla, painokorilla ja painoilla.

Omia kalibrointivälineitä ei työn alkamishetkellä ollut, joten saimme lainaksi Agco Sisu Powerilta sopivat mittavarret sekä painot, joiden avulla saimme alustavan kalibroinnin suoritettua. Tulevaisuudessa dynamometrin kalibrointia varten on tarkoitus valmistaa omat

mittavarret ja painokori käyttäen materiaaleina teräslevyä, lattarautaa sekä pyörö- tai kierretankoa.

Kalibroinnin suoritus on esitetty Panu Vidqvistin tekemässä opinnäytetyössä ”Moottoridynamometrin ohjausyksikön päivitys ja testaus”, joten en esitä sitä tarkemmin kuin mitä järjestelmän huollon kannalta on tarpeellista.

Kalibrointimittavarsien valmistamista varten tarvitsi selvittää, kuinka saataisiin yksinkertaisella laskutoimituksella määritettyä kalibrointiin tarvittavan mittavarren pituus ja millaiset painot tulisi hankkia. Työ suoritettiin siten, että mitattiin dynamometrin runko-osan ympärysmitta eli kehän pituus siltä kohtaa, johon mittavarsien kiinnitysvarsi kiinnittyy. Tästä tiedosta laskettiin dynamometrin sisään menevän vetoakselin säde. Seuraavassa kuvassa on esitetty apumittavarren kiinnityspiste akselin rungossa. Nuoli osoittaa kiinnityspinnan dynamometrin akselin rungossa.



Kuva 1. Apumittavarren kiinnityspiste dynamometrin runkoon.

Kun akselin säde on tiedossa, mitataan dynamometrissä lähtevien, kalibrointivarsien kiinnitykseen tarkoitettujen varsien pituus osalta, joka jää dynamometrin runko-osan ja mittavarsien kiinnityspisteiden väliin. Akselin kehän pituudeksi mitattiin 430-440 mm, ja

kiinnitysvarren pituudeksi 145 mm. Laskemalla akselin kehän pituudesta sen säde, saatiin tulokseksi noin 70 mm. Dynamometrin akseliin on tehty apuvarsien kiinnittämistä varten tasainen pinta, jonka syvyys on 14-15 mm. Laskemalla dynamometrin akselin säteen ja mittavarsien pituuden yhteen ja vähentämällä siitä akselin tehdyn syvennyksen pituuden, saadaan kalibrointimittavarsien kiinnityspisteen etäisyydeksi akselistä $(70 \text{ mm} + 145 \text{ mm}) - 15 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$.

Seuraavassa kuvassa on esitetty apumittavarsi irrallaan.



Kuva 2. Kalibrointimittavarsien kiinnitykseen tarkoitettu apuvarsi.

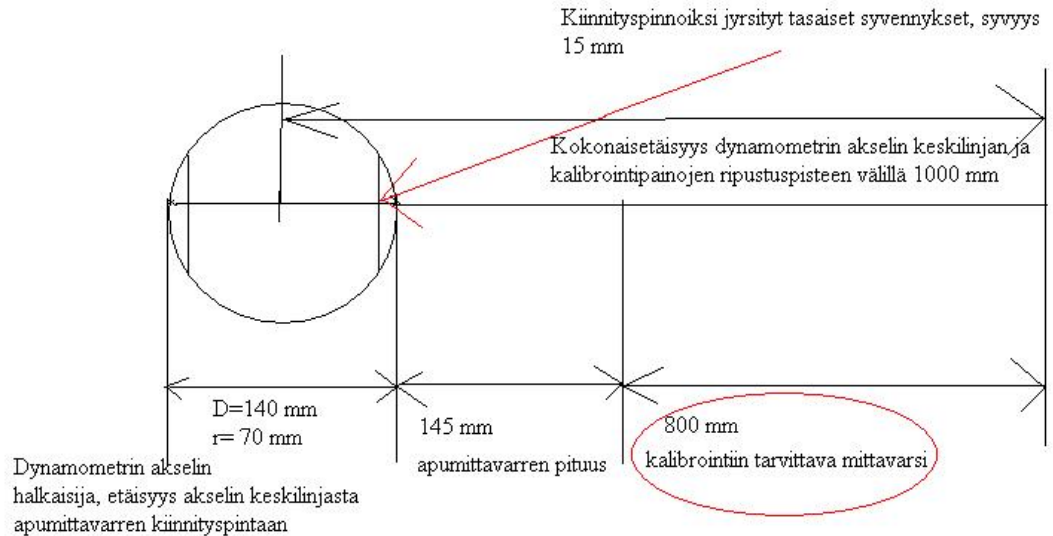
Dynamometrille sallittu suurin vääntömomentti on 477,5 Nm. Laskutoimituksen helpottamiseksi olisi suotavaa, että mittavarsien pituus olisi sellainen, jolla etäisyydeksi dynamometrin roottoriakselista tulisi yksi metri. Näin ollen kalibrointivaiheessa käytettyjen painojen aiheuttama vääntömomentti olisi aina painojen massa jaettuna maan vetovoimakiihtyvyyden arvolla $9,81 \text{ m/s}^2$.

Aikaisemman laskutoimituksen perusteella mittavarsien kiinnityspiste on 200 mm etäisyydellä roottoriakselista, joten painojen 1 metrin mittaetäisyyden saavuttamiseksi olisi kalibrointipainoille tarkoitetun mittavarren pituuden oltava 800 mm.

Itse mittavarsi voi olla pidempikin kuin 800 mm, riittää kunhan apuvarren kiinnityspisteen ja painojen ripustamispisteen välinen etäisyys on 800 mm ja sillä tavoin painojen etäisyydeksi

dynamometrin vetoakselin keskilinjasta tulee 1 metri. Kalibrointiin tarvittava suurin massa edellä mainitulla mittavarrella on $477,5 \text{ Nm} / 9,81 \text{ m/s}^2 = \underline{48,675 \text{ kg}}$.

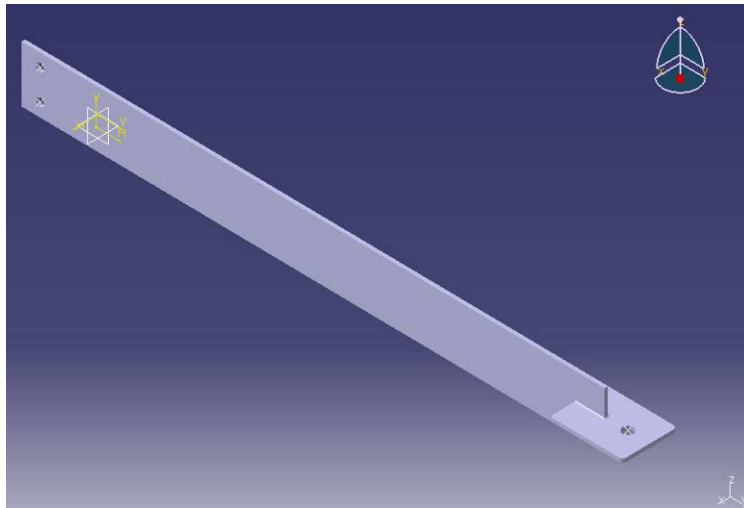
Seuraavassa kuvassa on esitetty yksinkertaistettuna edellä kuvattu rakenne.



Kuva 3. Kaaviopiirros dynamometrin kalibrointiin vaikuttavista mitoista.

Dynamometrillä voidaan testata moottoreita joiden pyörimissuunta on myötä- tai vastapäivään. Tämän vuoksi en ole tässä yhteydessä käynyt läpi kalibrointimittavarren vaikutusta dynamometrin ohjausyksikön näyttämään vääntömomenttiin. Dynamometrin ohjainlaite voidaan kalibroida näyttämään vääntömomentin nolla-arvo käyttämällä kahta samanlaista mittavartta siten, että niiden aiheuttamat vääntömomentit kumoavat toisensa. Kun nollakohdan kalibrointi suoritetaan tällä tavoin, voidaan kalibrointimittavarren aiheuttama vääntömomentti lukea suoraan ohjainlaitteen näytöltä, eikä laskutoimitusta tarvitse suorittaa.

Seuraavassa kuvassa on esitetty mallinnettu kuva mittavarren toteutuksesta ja liitteenä on Catia V5 3d-mallinnusohjelmalla laadittu valmistuspiirustus mittavarresta.



Kuva 4. Kalibrointipainojen mittavarren 3d-mallikuva.

2.3 Mittausantureiden asennus

Työtä aloitettaessa dynamometrilaitteisto oli joiltain osa-alueiltaan puutteellinen. Työn tavoitteena on mahdollisimman tehokas opetuskäyttö. Tämän vuoksi dynamometrilaitteistoa päivitetään erilaisilla mittareilla.

Tärkeimpiä mittareista ovat pakokaasun lämpötilamittarit, joilla saadaan tehokkaasti havainnollistettua, kuinka moottorin ohjausjärjestelmän säätöparametrien muutokset vaikuttavat moottorin palotapahtumaan.

Työtä suorittaessa moottorin pakoputkistoon asennettiin kolme termoparia, joista kaksi asennettiin pakoputkistoon ennen ja jälkeen katalysaattoria. Pakoputkistossa on lisäksi kaksi äänenvaimenninta, joiden väliseen osaan putkistoa sijoitettiin termopari.

Termoparit ovat K-tyypin termopareja ja kestävät lämpötiloja 1024 °C asti.

Seuraavassa kuvassa on esitetty kaksi laitteistossa käytettyä termoparia.



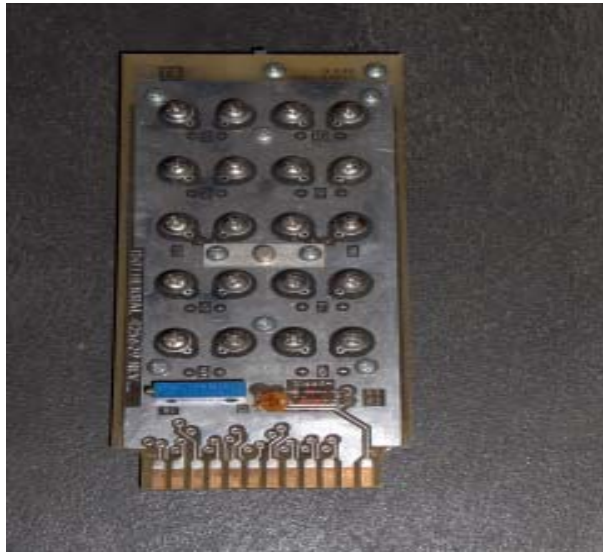
Kuva 5. Esimerkki lämpötilamittaukseen käytettävistä termopareista.

Pakokaasujen lämpötilan tarkkailua varten otimme käyttöön Fluke 2176A lämpömittalaitteen, jossa on 10 mittakanavaa. Laitteen kanavamäärä riittää hyvin tähänhetkisiin mittauksiin ja laitteistossa jää vielä seitsemän kanavaa käyttämättä. Tulevaisuudessa näihin kanaviin voisi kytkeä esimerkiksi moottoriin menevän ja sieltä poistuvan jäähdytysveden, sekä imuilman lämpötilan. Mittalaite on esitettynä seuraavassa kuvassa.



Kuva 6. Lämpötilojen seuraamiseen käytettävä mittalaite.

Mittalaitteen tärkein osa on laitteen sisällä oleva irrotettava piirikortti, johon voidaan kytkeä kymmenen termoparin johdot. Kortin helpon irrotettavuuden vuoksi mittalaitetta voidaan ongelmattomasti käyttää myös muihin lämpötilamittauksiin, vaikka termoparit ovat kiinteästi asennettuna pakoputkistoon. Seuraavassa kuvassa on esitetty piirikortti irrallaan.



Kuva 7. Lämpötilamittarin piirikortti.

Hyödyllisiä instrumentteja olisivat myös imu- ja pakoputkistoon asennettavat läppä-tyyppiset kuristimet tai venttiilit ja painemittarit, joilla saataisiin mitattua kuristimella tuotettu paine-ero läpän / kuristimen yli. Tämän työn aikana niitten asentamista ei kuitenkaan koettu tarpeelliseksi, sillä dynamometrilaitteiston opetuskäytön kannalta ollaan vielä alkuvaiheessa, eikä tämän ominaisuuden käyttöönotolla vielä ole olennaista osaa harjoitustöiden sisällössä.

Mikäli sylinterin painemittaus olisi mahdollista tulevaisuudessa toteuttaa, olisi se myös tehokas apuväline palotapahtuman havainnollistamiseen.

Moottorin pakoputkeen on asennettu myös toinen lambda-anturi katalysaattorin toiminnan tarkkailua varten, mutta sitä ei ole vielä kytketty. Työtä suoritettaessa myös tämä anturi otetaan käyttöön.

2.4 Dynamometrilaitteiston huolto-ohjeet

Jotta dynamometrilaitteisto pysyisi käyttökelpoisena pitkään ja sen tuottamat mittaustulokset pysyisivät luotettavina, on aiheellista suorittaa sille tarvittava huolto määräajoin.

Tällaisia toimenpiteitä ovat lähinnä järjestelmän kalibrointi painoja ja mittavarsia apuna käyttäen, moottorissa olevan jäähdytysnesteen ja moottoriöljyn vaihto, sekä dynamometrissä ja lämmönvaihtimissa kiertävän jäähdytysveden vaihto säännöllisin väliajoin.

Koska dynamometrilaitteisto on periaatteessa käyttämättömänä kesän ajan, olisivat sopivat huoltoajankohdat esim. kevät- ja syyslukukauden viimeiset viikot. Toisaalta, kesälomien

aiheuttaman tauon vuoksi olisi sopiva ajankohta keväthuollolle luultavammin syyslukukauden alku.

Moottorinohjausjärjestelmän säätöparametrien arvojen vaikutusta moottorin käyttöominaisuuksiin on tarkoitus testata laajalla seossuhde-alueella. Tästä syystä ei polttoaineen ja ilman seossuhde ole aina optimaalinen katalysaattorin toimintaa ajatellen. Sen vuoksi olisi suositeltavaa tarkastaa katalysaattorin toiminta aika-ajoin ja uusia se, mikäli tämä todetaan tarpeelliseksi pakokaasujen pelkistystehon heikkenemisen vuoksi. Testaus suoritetaan mittaamalla pakokaasujen arvot pakokaasuanalysaattorin avulla mittauspisteistä, mitkä sijaitsevat pakoputkistossa ennen ja jälkeen katalysaattoria.

3 VAARATEKIJÖIDEN KARTOITTAMINEN JA RISKIANALYYSI

3.1 Riskianalyysin periaate

Tässä kappaleessa tarkastellaan riskianalyysin peruseriaatetta, kartoitetaan laitteistossa olevat vaaratekijät sekä riskianalyysimatriisin avulla selvitetään merkittävimmät riskit dynamometrilaitteistossa.

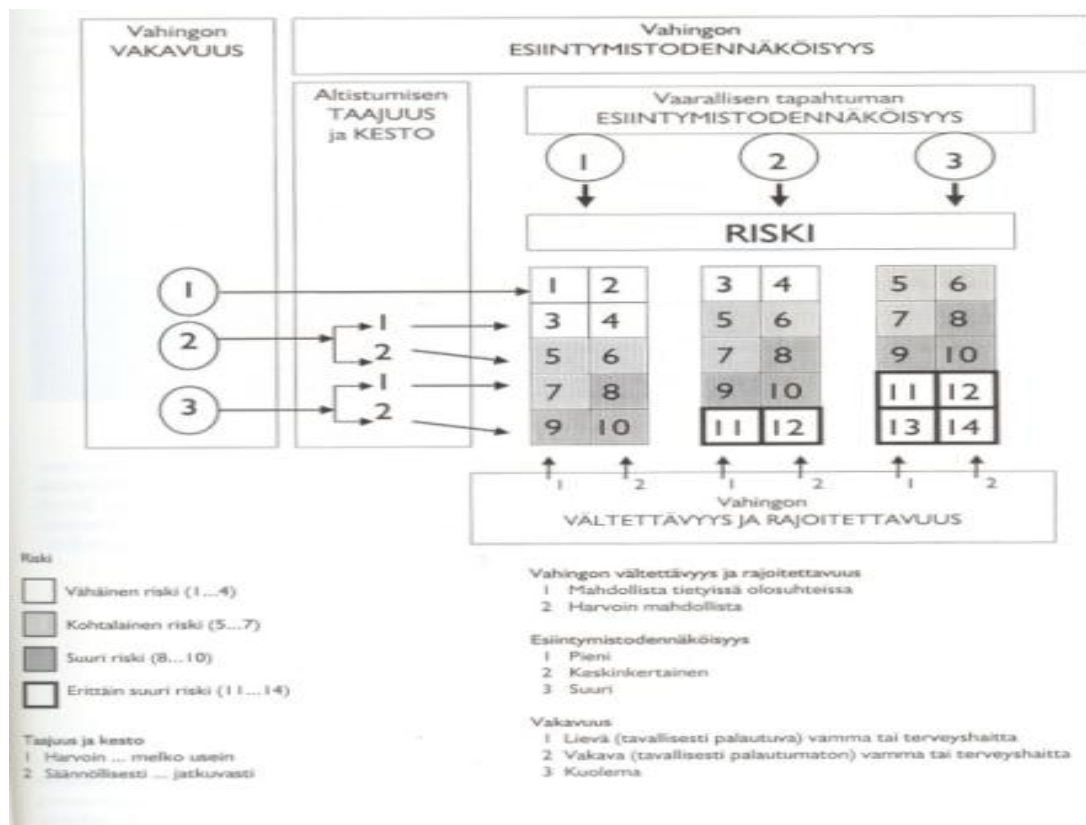
Riskimatriisin tarkoituksena on selvittää, mitkä ovat laitteiston käytössä ilmenevät turvallisuusriskit, millaiset ovat niiden ilmenemisen todennäköisyydet, sekä millaisiin seurauksiin ne toteutuessaan johtavat.

Seuraavassa kuvassa on esitetty britannialaisen standardin BS 8800 liitteessä D oleva kolmitasoinen luokittelu, joka perustuu todennäköisyyteen ja seurausten vakavuuteen. Tämä standardi on saatavissa myös suomenkielisenä julkaisuna.

ESIINTYMINEN	SEURAUKSET		
	Lievästi haitallinen	Haitallinen	Erittäin haitallinen
Hyvin epätodennäköinen	Vähäinen riski	Siedettävä riski	Kohtalainen riski
Epätodennäköinen	Siedettävä riski	Kohtalainen riski	Merkittävä riski
Todennäköinen	Kohtalainen riski	Merkittävä riski	Sietämätön riski

Kuva 8. Riskien todennäköisyys, vaikutuksen haitallisuus ja seuraukset. /5/

Seuraavassa kuvassa on esitetty Metalliteollisuuden keskusliiton, MET:n, integraatietiedotteen nro. 24 esimerkki, jossa käytetään neliportaista asteikkoa riskin suuruuden arvioimiseksi. Jokaisen portaan sisällä on vielä mahdollista tehdä jako vielä kolmeen tai neljään alaryhmään./



Kuva 9. Vahingon vakavuuden, keston ja esiintymistodennäköisyys. /5/

Seuraavassa kuvassa on esitetty kansainvälisen standardin IEC 61 508-5:n riskien kartoitusmalli, joka on tarkoitettu lähinnä suurien järjestelmien suunnitteluun ja luokitteluun. Standardi IEC 61 508-5 on ohjelmoitavia järjestelmiä käsittelevä standardi.

TODENNÄKÖISYYS	SEURAUKSET			
	Vähäiset	Kohtalaiset	Vakavat	Katastrofi
Äärimmäisen epätodennäköinen	Vähäinen riski	Vähäinen riski	Vähäinen riski	Vähäinen riski
Epätodennäköinen	Vähäinen riski	Vähäinen riski	Kohtalainen riski	Kohtalainen riski
Melko epätodennäköinen	Vähäinen riski	Kohtalainen riski	Kohtalainen riski	Merkittävä riski
Satunnainen	Kohtalainen riski	Kohtalainen riski	Merkittävä riski	Sietämätön riski
Mahdollinen	Kohtalainen riski	Merkittävä riski	Sietämätön riski	Sietämätön riski
Todennäköinen	Merkittävä riski	Sietämätön riski	Sietämätön riski	Sietämätön riski

Kuva 10. Tapaturman todennäköisyyden ja seurauksien vaikutus riskin merkittävyyteen. /5/

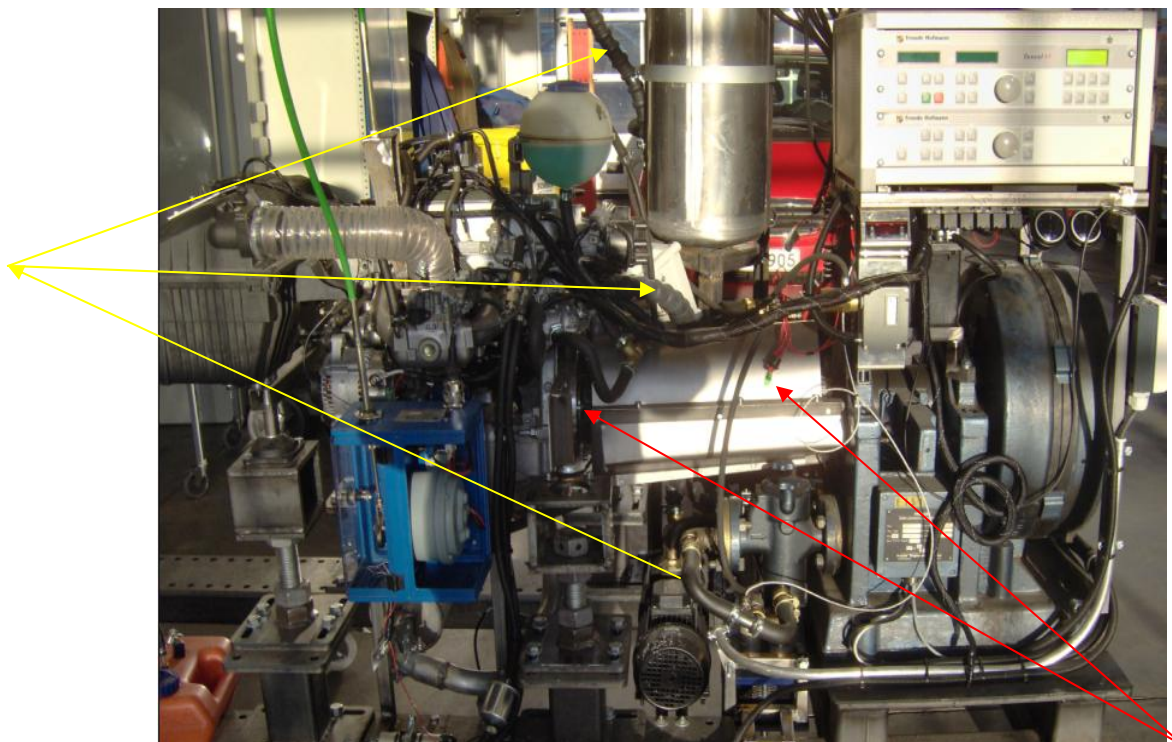
Koska riskien arviointiin liittyy aina niin paljon epävarmuustekijöitä ja arvioijien omia arvostuksia, ei kolmiportaista yksityiskohtaisempaa asteikkoa kannata käyttää. Moniportainen järjestelmä antaa vain väärän kuvan menetelmän tarkkuudesta. Erityisesti ihmisten toiminnan ja ihmisten tekemien virheiden arviointi ja huomioon ottaminen on hankalaa ja perustuu arvioijien omiin kokemuksiin ja subjektiivisiin arvioihin.

Laboratoriossa olevan dynamometrilaitteiston kaltaisia koneita tai laitteita ei ole kovin paljoa käytössä, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Tästä syystä ei tässä tapauksessa voida hyödyntää valmista mallia siitä, mitkä ovat laitteiston merkittävät riskitekijät. Suomalaisissa moottoritehtaissa on moottoritehdynamometrejä päivittäisessä käytössä kymmenittäin, mutta niistä ei kuitenkaan ole tehty valmista standardimallia turvallisuutta ajatellen. Tämän vuoksi on syytä tarkastella muita koneita, joissa voidaan tulkita olevan samantapaisia riskikohteita. Vaarallisimmat ja riskialttiimmat koneet on esitetty seuraavassa taulukossa.

Kone	Tapaturmia	Niistä vakavia
Veistävät ja leikkaavat työkalut	4697	138
Moottoriajoneuvot (ei liikennevahinko)	3243	440
Erittelemättömät konetapaturmat	1916	224
Sahat ja katkaisukoneet	1613	309
Leikkurit	1372	100
Trukit	1269	176
Porakoneet, avarruskoneet ja sorvit	978	101
Hihna- ja rullakuljettimet	845	107
Nosturit	810	155
Maansiirto- ja maantasauskoneet	600	108

Kuva 11. Lista eniten tapaturmia aiheuttaneista koneista ja laitteista. /5/

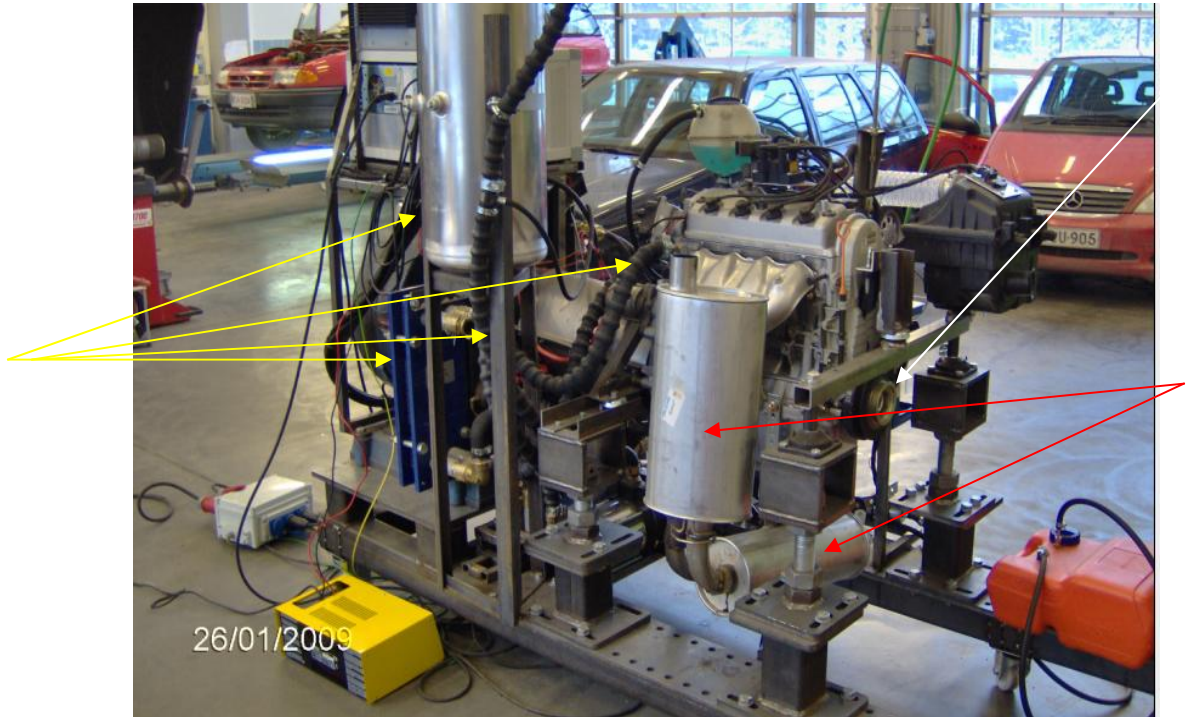
Dynamometrilaitteistossa voidaan todeta olevan samanlaisia vaaratekijöitä kuin sorvissa tai porakoneessa, viitaten tällä moottorin ja dynamometrin väliseen kardaniakseliin. Se on tällä hetkellä jollain tavoin suojattu, mutta johtuen suojapellin ohuudesta, voidaan tätä suojausta pitää puutteellisenä. Muita yhtäläisyyksiä edelliseen listaan ei oikeastaan ole, jollei huomioida moottoriajoneuvojen kategoriaa tai hihna- ja rullakuljettimia. Moottorin apulaitehihna on avoin ja muodostaa moottorin käydessä riskitekijän.



Kuva 12. Moottoritehodynamometrin riskikohteet vasemmalta sivulta kuvattuna.

Dynamometrilaitteiston vasemmalta puolelta havaittavat riskikohteet ovat:

- lämmönvaihtimen letkut (osoitettu keltaisilla nuolilla kuvan vasemmalta reunalta)
- kardaniakseli ja vauhtipyörä (osoitettu punaisilla nuolilla kuvan oikealta reunalta)



Kuva 13. Moottoritehodynamometrin riskikohteet oikealta puolelta kuvattuna.

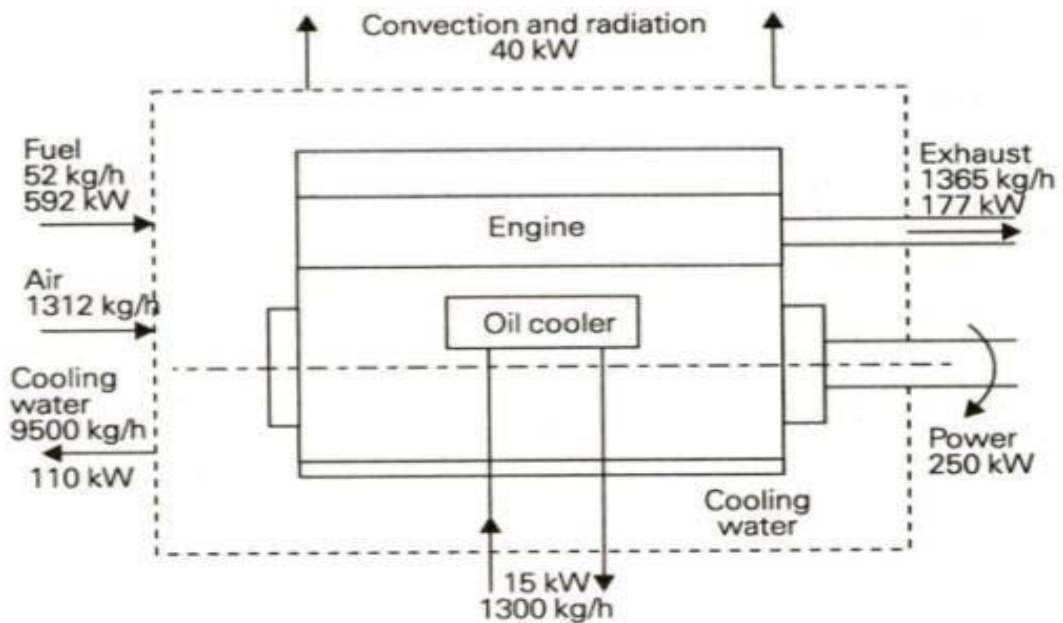
Dynamometrilaitteiston oikealta puolelta havaittavat riskikohteet ovat:

- äänenvaimentimet ja pakoputkisto (osoitettu punaisilla nuolilla kuvan oikealta reunalta)
- moottorin lämmönvaihtimien jäähdytysnesteletkut (osoitettu keltaisilla nuolilla kuvan vasemmalta reunalta)
- moottorin apulaitehinnä (osoitettu valkealla nuolella kuvan oikeasta yläkulmasta päin)

Seuraavissa alaluvuissa on eriteltyä dynamometrilaitteistossa olevat riskikohteet eri alakategorioihin jaettuna.

3.2 Palovaarat

Polttomootoreiden verrattain heikon hyötysuhteen seurauksena moottoria käytettäessä syntyy runsaasti lämpöä. Tästä merkittävä osa välittyy jäähdytysnesteeseen ja sitä kautta jäähdytysjärjestelmän komponentteihin, joiden tarkoituksena on johtaa lämpö nesteestä pois.

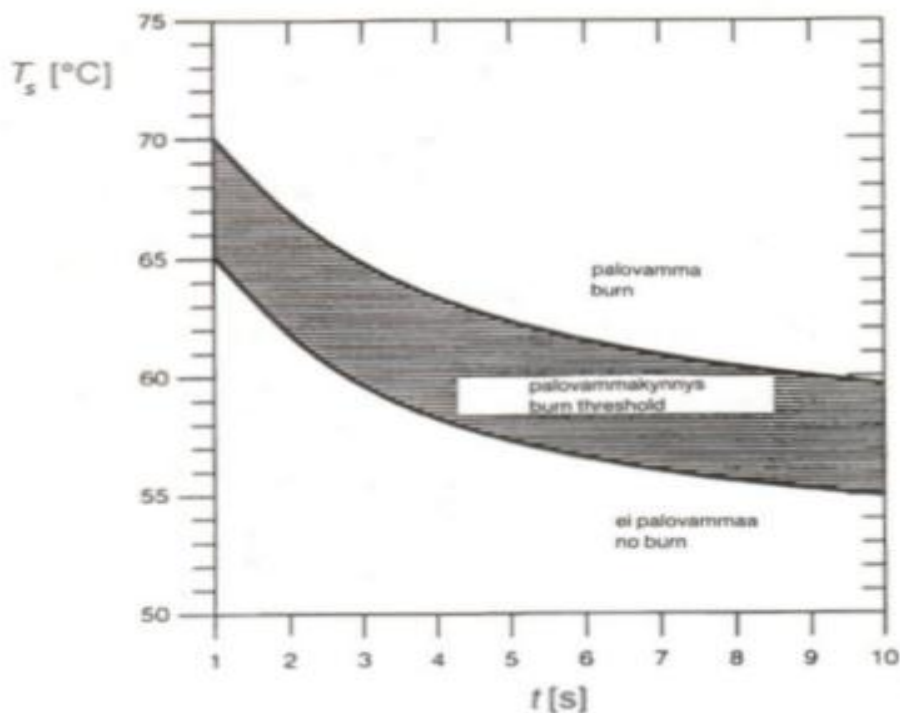


Kuva 14. Moottorin lämpötaseen esimerkki. /1/

Jäähdytysnesteen lämpötila moottorin ollessa käyttölämmmin on n. 80–100 °C, joten mikäli esimerkiksi jokin jäähdytysnesteletkuista irtaoo liitoksestaan tai ratkeaa, aiheuttaa kuuma neste vakavan palovamman. Lisäksi on myös vaara tämän kuuman nesteen joutumisesta dynamometrin- ja kaasunohjainlaitteiden päälle, mikä aiheuttaa riskin oikosulun syntymiselle.

Moottorin pakoputkisto on myös merkittävä riskikohde palovammojen aiheuttajana, joten sen eristykseen olisi syytä kiinnittää myös huomiota. Pakokaasujen lämpötila nousee bensiinikäyttöisissä moottoreissa n. 700–1000 Celsius-asteeseen. Metallin hyvän lämmönjohtavuuden vuoksi tämä aiheuttaa pakoputkiston osien pintalämpötilojen nousun 200–500 Celsius-asteeseen.

Seuraavassa kaaviossa ja taulukossa on esitetty lämpötilojen ja ihokontaktin ajallisen keston yhteys palovammoihin.



Kuva 15. Lämmölle altistumisen ja ajan yhteys palovamman syntyyn. /5/

Kuvaajaa tulee tulkita siten, että oltaessa kuvaajan tumman alueen yläpuolella, on palovamman syntyminen lähes varmaa. Kun ollaan tumman alueen alapuolella, vammaa ei todennäköisesti synny, vaikka kipukynnys ylittyisikin. Tummallalla alueella oltaessa on tapauskohtaisesti mahdollista että palovamma joko muodostuu tai ei muodostu. /5/

Kosketusaikaa arvioitaessa otetaan huomioon mm. tapahtuuko kosketus todennäköisesti vahingossa ja onko silloin mahdollista vetäistä käsi (tai muu kehon osa) pois heti, kun kuumuus alkaa tuntua. Tällaisissa tapauksissa voidaan käyttää 1 sekunnin kosketusaikaa. Edellä olevan kuvaajan mukaan palovammakynnys olisi tällöin +65...+70 °C. /5/

Kosketusajat voivat olla myös paljon pidempiä ja tällöin palovamman syntymiseen johtavat lämpötilat ovat myös paljon pienempiä. Laitteiston käytössä tällaiset pidempiaikaiset kosketukset kuumien pintojen kanssa vaikuttavat kuitenkin epätodennäköisiltä.

Seuraavassa taulukossa on esitettyä kuinka kuuman pinnan materiaali vaikuttaa pintalämpötilan ja kosketusajan lisäksi palovamman syntyyn.

Kosketettava materiaali	Palovammakynnys (°C) eri kosketusajoilla		
	1 min	10 min	8 h *)
Pinnoittamaton metalli	51	48	43
Pinnoitettu metalli	51	48	43
Keraamiset materiaalit, lasi tai kivimateriaalit	56	48	43
Muovit	60	48	43
Puu	60	48	43

*) Jos yli 10 % ihosta tai yli 10 % pään ihosta koskettaa kuumaa pintaa, voivat vammat olla mahdollisia jo alle 43 °C lämpötiloissa.

Kuva 16. Materiaalin ja kosketusajan vaikutus palovamman syntyyn. /5/

Omakohtraisen kokemusten perusteella voin todeta että dynamometrilaitteiston käytössä yleisimpiä riskejä ovat juuri palovammat, mutta koska kosketusajat ovat lyhyitä, ei näistä ole aiheutunut kuin lieviä palovammoja. Palovammat on saanut hoidettua kylmällä vedellä huuhtelemalla ja tarvittaessa laastarilla suojaamalla.

3.3 Sähkökäytöstä aiheutuvat vaarat

Järjestelmää käytettäessä ollaan tekemisissä myös suurien jännitteiden kanssa. Nämä aiheuttavat vaaraa mikäli järjestelmän käyttöjännite sattuisi jostain syystä johtumaan laitteiston tukirakenteisiin, jotka ovat terästä ja siksi hyvin sähköä johtavaa materiaalia.

Dynamometrin herätekäämien ohjausjännite on n. 70 voltia ja ohjainlaitteiden käyttöjännite 230 V. Jäähdytysvesipumppu kytketään voimavirtaverkkoon, jonka jännite on 380 Voltia.

Dynamometrin herätekäämien ohjausvirta on n. 4-5 Ampeeria, joten mikäli tämä virta sattuisi kulkemaan käyttäjän kehon läpi, olisi sillä kohtalokkaat seuraukset. Tämän ei pitäisi olla kuitenkaan mahdollista, sillä johdot kulkevat niin hyvin eristettynä ja koteloituna, ettei niihin ole mahdollista päästä vahingossa käsiksi.

Tämän lisäksi sähkökäytöt muodostavan suuren riskitekijän tilanteessa, jossa joku jäähdytysneste- tai vesiletkuista rikkoutuisi ja mahdollistaisi kuumen nesteen pääsemisen dynamometrin tai sen ohjainlaitteen sähköisiin osiin. Tämän seurauksena aiheutuisi todennäköisesti oikosulku.

3.4 Roiskuvien nesteiden aiheuttamat vaarat

Dynamometrilaitteistossa on nesteinä jäähdytysnestettä (vesi-glykoli-seos), öljyä ja bensiiniä. Kaikki nämä ovat haitallisia iholle joutuessaan, jonka lisäksi bensiinissä on höyrystymisestä aiheutuva räjähdys- tai palovaara. Lisäksi haihtumiskaasut ovat terveydelle erittäin haitallisia hengitettyinä. Kaikkien nesteiden lämpötilataso on niin korkea, että ne aiheuttavat palovamman riskin ihokosketuksen yhteydessä.

3.5 Irtoavien osien aiheuttamat vaarat

Moottoria käytettäessä joudutaan tekemisiin suurilla nopeuksilla pyöriviin osiin, jotka ovat tilanteiden vaihdellessa suurienkin rasituksien alaisina. Tämä aiheuttaa vaaratilanteita laitteiston käyttäjälle, sillä irtoavilla osilla on suuri liike-energia nopeuden takia. Näitä osia ovat moottorin ja dynamometrin väliset kytkentäosat, eli kumikytkimet ja kardaaniakseli. Myös moottorin apulaitehahna on riskitekijä, katkeamisvaaran vuoksi.

Mikäli moottori leikkaisi kiinni, tai sen nokka-akselin hammashahna katkeaisi, aiheutuu tästä merkittävä riskitekijä, sillä moottorin sisällä pyörivistä osista jotkut saattavat vaurioitua niin vakavasti, että läpäisevät sylinterilohkon ja sinkoutuvat työtilaan. Tällaisia osia ovat mm. kiertokanget.

3.6 Melun aiheuttamat haitat

Dynamometrilaitteisto tuottaa käyttötilanteessa ääntä, jonka intensiteettitaso on n. 80–110 dB. Tällaiselle melulle altistuminen aiheuttaa riskejä kuulon heikkenemiselle. Tämän vuoksi laitteistoa käytettäessä olisi syytä huolehtia kuulosuojaimien jatkuvasta käytöstä.

3.7 Riskimatriisi ja lopputulokset

Riskimatriisi on esitettyinä liitteessä 3.

Lopputuloksena päädyttiin siihen, että merkittävimmät riskit aiheutuvat pakoputkistosta ja moottorista kytkentäosineen. Pakoputkiston pintalämpötilat ovat niin korkeat, että kosketuksen seurauksena on automaattisesti palovamma.

Moottoriin liittyy useita vaaratekijöitä. Yksi niistä on moottorin hajoaminen esimerkiksi nokka-akselin hammashahnan katkeamisen seurauksena.

Toinen on moottorin hajoaminen liiallisen kuormituksen seurauksena.

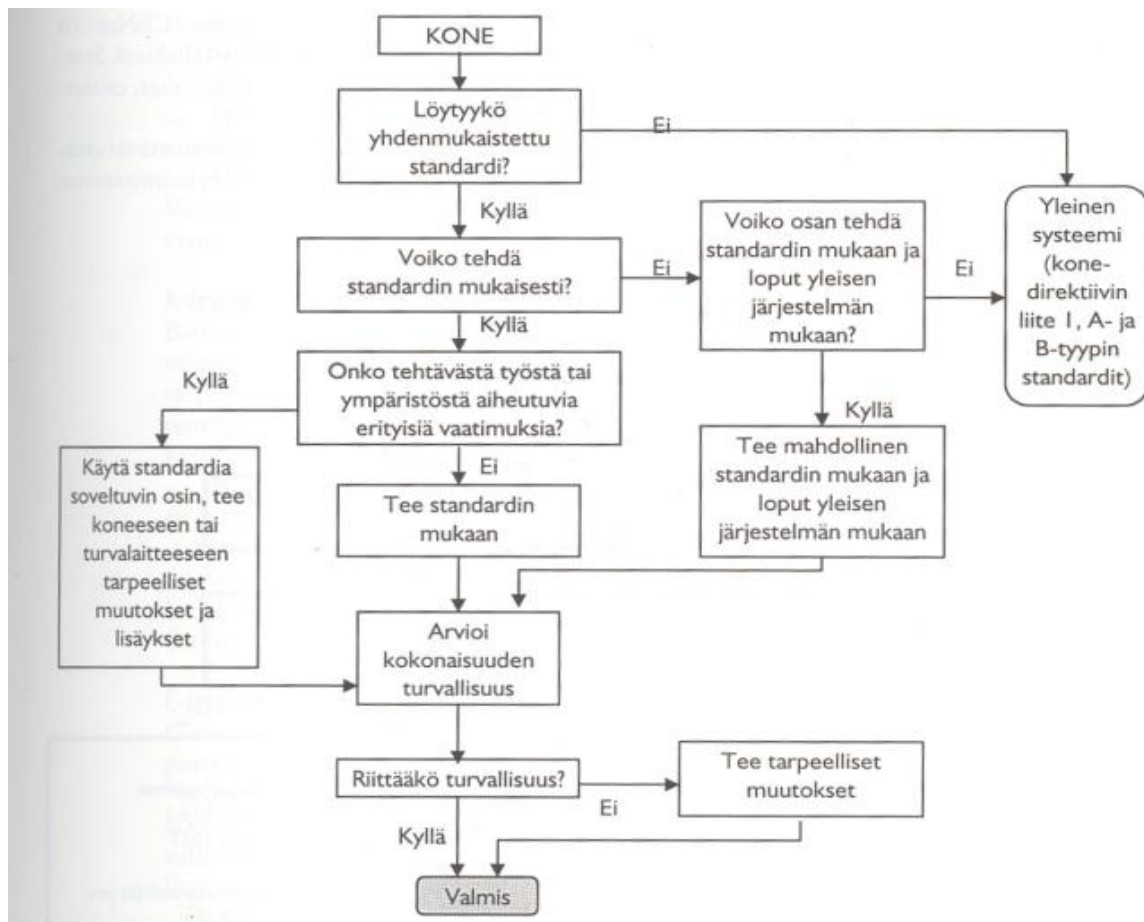
Kolmas riski on moottorin ja dynamometrin välisten kytkentäosien hajoaminen tai ruuvien löysyyden aiheuttama irtoaminen. Kaikissa moottoriin ja kytkentäosiin liittyvissä riskitekijöissä on se vaara, että metallisia osia tai niiden kappaleita sinkoutuu dynamometrilaitteiston ympäristöön. Mikäli joku näistä kappaleista osuu ihmiseen, aiheutuu siitä vammoja jonka seuraukset voivat vaihdella vähäisestä vakavaan tapauskohtaisesti.

Päätimme ratkaista ongelman muuttamalla dynamometrilaitteiston rakennetta turvallisemmaksi. Tämän toteutimme estämällä pakoputkiston kosketusmahdollisuuden käytön aikana, sekä sijoittamalla dynamometrin ohjainlaitteen siten, ettei käyttäjän tarvitse olla dynamometrilaitteiston sivulla käytön aikana. Toteutus on kuvattu tarkemmin seuraavassa luvussa.

4 TURVALLISUUSVAATIMUKSET JA TURVALLISUUSOHJE

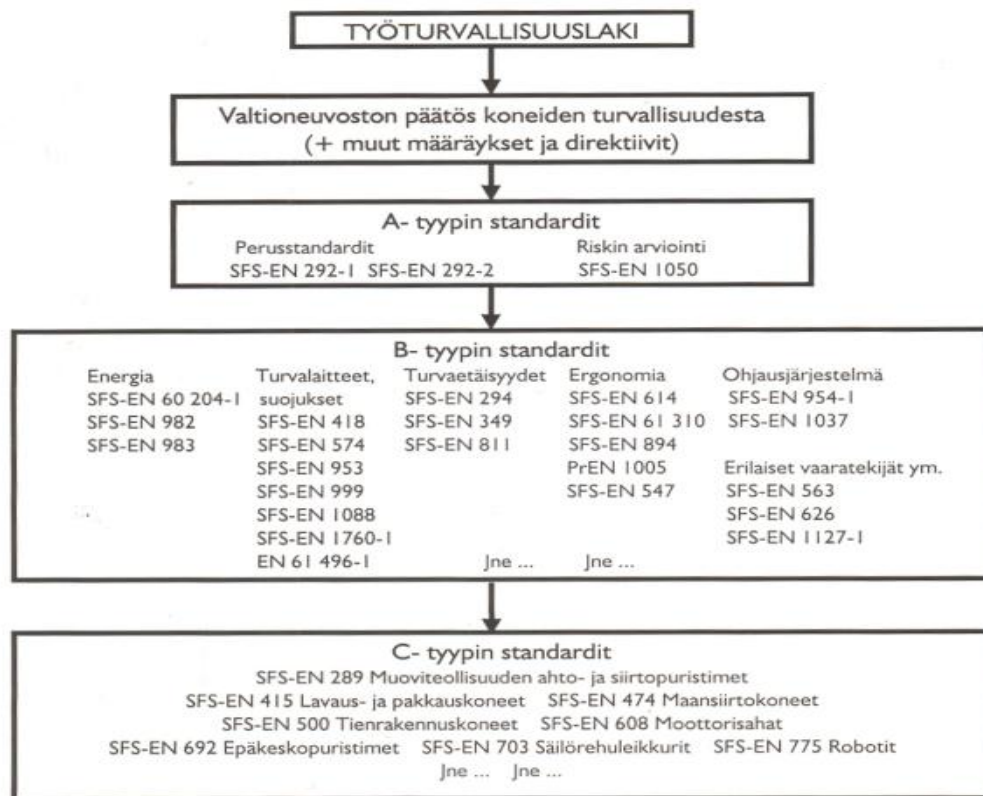
4.1 Turvallisuusvaatimukset ja niiden saavuttaminen

Kappaleessa käsitellään laitteiston turvallisen käytön edellytykset ja vaatimukset, sekä järjestelmällinen toiminta hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi.



Kuva 17. Kaavio turvallisen konesuunnittelun toteutuksesta /5/

Kaavion perusteella voidaan todeta, ettei laitteiston turvallisuuden suunnittelussa voida hyödyntää valmista standardia, joten työssä on hyödynnettävä konedirektiivin liitteen 1 A- ja B-tyyppin standardeja.



Kuva 18. Konesuunnittelussa käytettävät turvallisuusstandardit

Edellisestä kaaviosta saadaan selville, että riskien kartoitus tulee tehdä SFS-EN 1050 standardin mukaisesti ja turvallisuuden kehittäminen tulee suorittaa Standardien SFS-EN 292-1 ja 292-2 mukaisesti. Lisäksi laitteiston suojarusteiden valmistuksessa tulee käyttää taulukossa mainittuja B-tyypin standardeja.

4.1.1 Palovaarojen aiheuttamien vammojen estäminen

Koska suurimmat pintalämpötilat järjestelmässä on pakoputkistossa, äänenvaimentimissa, moottorissa ja lämmönvaihtimissa, on näiden kohteiden eristykseen syytä paneutua huolellisesti. Lisäksi pakoputkisto on yksi suurimmista melunlähteistä. Siksi se on syytä eristää esimerkiksi ilmastointikanavissa käytettävällä alumiiniputkella ja asentamalla palamatonta lasivillaa putkien välille.

Kuumien tai erittäin kylmien pintojen aiheuttamien palovammojen ja muiden vaarojen torjumiseksi voidaan käyttää mm. seuraavia keinoja:

- koneen toimintaperiaatteen tai prosessin muuttaminen niin, että vaaraa aiheuttavia lämpötiloja ei ole
- pintojen jäähdyttäminen (tai lämmittäminen)

- lämpöeristys
- pintoihin suoraan koskettamisen estäminen esimerkiksi verkkosuojuksilla
- pintojen sijoittaminen ulottumisetäisyyden ulkopuolelle./5/

Kuumia pintoja koskevan standardin SFS-EN 563 liitteessä C on esimerkki polttomoottorikäyttöisen käsityökoneen kuumien pintojen aiheuttamien vaarojen poistamisesta. Esimerkissä käsitellään erikseen mm. sylinterin ja äänenvaimentimen kuumat pinnat sekä kädensijat. /5/

Kuumiin tai hyvin kylmiin pintoihin koskettamisen lisäksi vaaraa voi aiheutua kuuman tai hyvin kylmän nesteen, kaasun tai höyryn purkautumisesta laitteiden tai (kuten putkien ja letkujen) rikkoutuessa tai esimerkiksi toimintahäiriöiden yhteydessä tai erehdyksessä väärää venttiiliä tai pikaliitintä avatessa. /5/

Tällaisten vahinkojen mahdollisuus on selvitettävä etukäteen suunnittelun yhteydessä ja poistettava siitä aiheutuvat vaarat. Esimerkiksi pikaliittiminä voidaan käyttää sellaisia liittimiä, jotka voidaan avata vain paineettomina. /5/

Parannustöitä tehdessä pakoputkistoa muutettiin siten, että se johdetaan mahdollisimman etäälle käyttäjästä ja suojataan verkolla, jolloin siihen ei ole vahingossa mahdollista polttaa itseään.



Kuva 19. Pakoputkisto muutosvaiheen aikana

Pakoputkisto myös koottiin mahdollisimman pitkälti sovituliitoksia käyttäen, joten se on helposti muunneltavissa ja purettavissa mikäli tulevaisuudessa ilmenee muutostarvetta sille.

4.1.2 Sähkökäytön aiheuttamien vammojen estäminen

Verkkovirtapistorasioden yhteydessä on vikavirtasuoja, mutta koska dynamometrilaitteiston vuotovirrat ovat suurempia kuin vikavirtasuojan kytkeytymisraja, ei sitä ole voitu ottaa käyttöön. Mikäli virtalähde ja jarrunohjain siirretään erilliselle alustalle pois dynamometrin päältä, saadaan tämä ominaisuus otettua käyttöön.

Muutostöitä suoritettaessa akun yhteyteen asennettiin päävirtakatkaisin. Dynamometrin ohjainlaite myös käännettiin ja suojattiin siten, ettei letkurikon aiheuttama nestevuoto osuisi siihen. Akku sijoitettiin muoviseen koteloon, jonka kansi tulee metallisella pannalla kiinni, joten mikäli akku menisi oikosulkuun tai vaurioituisi muilla tavoin, on se eristetty käyttäjästä.

4.1.3 Roiskuvien nesteiden aiheuttamien vammojen estäminen

Koska suurimpia riskejä ovat letkujen irtoaminen tai ratkeaminen, olisi edullista tehdä koko järjestelmän ympärille häkki, jossa olisi pleksistä valmistetut seinät. Tällä tavoin saataisiin nesteiden pääsy käyttäjän päälle estettyä. Näin myös näköhavaintojen teko järjestelmästä olisi vielä helppoa.

Kustannustehokkain keino välttää palovammoilta on asianmukaisten suojavaarusteiden käyttö. Lisäksi laitteiston tarkastaminen säännöllisin väliajoin, esim. huoltojen yhteydessä, edesauttaisi mahdollisten alkavien letkuvaurioiden havaitsemista ja niiden aiheuttamien ongelmien ennaltaehkäisyä.

Parannustoimia suoritettaessa päädyimme ongelman ratkaisuun keinolla, jolla dynamometriä käyttävä henkilö on laitteiston takana, eikä näin ole nesteletkujen läheisyydessä.

4.1.4 Irtoavien mekaanisten osien aiheuttamien vammojen estäminen

Suurimmat vaaratekijät järjestelmässä ovat moottorin vääntömomentin dynamometrille välittävät osat eli kytkin ja kardaniakseli. Nämä osat on jo nyt suojattu erillisellä suojapellillä. Levyn paksuus on kuitenkin melko pieni, joten se olisi syytä korvata paksummalla.

Käytännössä on havaittu 5-10 millimetrin teräslevykotelon olevan riittävä kardaniakselin rikkoutumisesta aiheutuvan vaaratilanteen seurausten torjumiseen.

Tässä voisi hyödyntää samanlaista ratkaisua kuin nesteiden aiheuttamien vaarojen torjumisessa sillä erotuksella, että pleksin lisäksi asennettaisiin jonkinlainen teräsverkko järjestelmän ympärille siten, että käyttölaitteisiin päästäisiin kuitenkin käsiksi suojahäkin ollessa paikoillaan.

Nämä seikat muuttavat järjestelmää niin paljon vaikeampikäyttöiseksi suuntaan, että jo työn alkuvaiheessa esitetty ajatus järjestelmän siirtämisestä esimerkiksi kuljetuskonttiin ja erillisen valvomon käyttöön siirtymisestä tuntuivat kustannustehokkaimmalta vaihtoehdolta.

Ajanpuutteen vuoksi parannustoimenpiteitä suoritettaessa päädyttiin ratkaisuun, jolla dynamometrin ohjainyksikkö käännettiin toisin päin. Tällä tavoin varmistettiin, ettei käyttäjä ole missään vaiheessa harjoitustöitä suorittaessaan dynamometrin tai moottorin vieressä, eikä näin ole pyörimisliikkeessä olevien osien säteen suunnassa eikä tällä tavoin ole vaaranvyöhykkeellä laiterikon sattuessa.

Käytön aikana on suositeltavaa käyttää myös suojalaseja mahdollisten roskien tms. muuten vaarattomien hiukkasten pääsyn estämiseksi silmiin.

4.1.5 Melun aiheuttamien vammojen estäminen

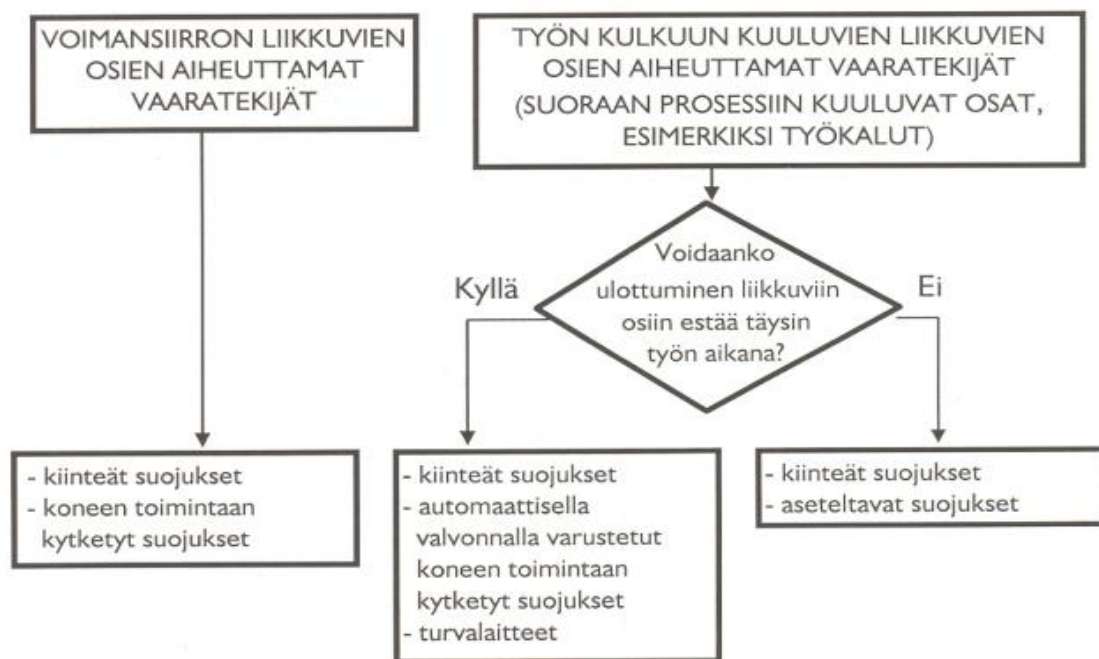
Suurin melu aiheutuu moottorin käyntiäänestä, joka purkautuu pakoputken kautta käyttötilaan. Siksi suurimmat muutokset voidaan tehdä pakoputkiratkaisua muuttamalla. Tosin järjestelmään on asennettu jo kaksi äänenvaimenninta ja katalysaattori jotka vaimentavat ääntä merkittävästi joten ongelman ei pitäisi olla niin vakava. Laitteistoa testattaessa kuitenkin on jouduttu toteamaan että laitteistoa käytettäessä miellyttävän työskentelyn saavuttamiseksi kuulosuojainten käyttö on tarpeellista.

Suurin parannus olisikin luultavasti luvussa 4.1.1 esitetty eristysratkaisu, eikä tämä heikentäisi vielä merkittävästi järjestelmän käytettävyyttä.

Helpoin tapa välttää kuulovaurio on riittävällä vaimennuksella varustettujen kuulosuojainten käyttö. Mitattaessa melutasoja dynamometrin käyttöpaikalta, todettiin sen tuottavan melua, minkä intensiteettitaso on 90–110 dB. Kuulosuojaimia valittaessa tämä on huomioitava riittävän

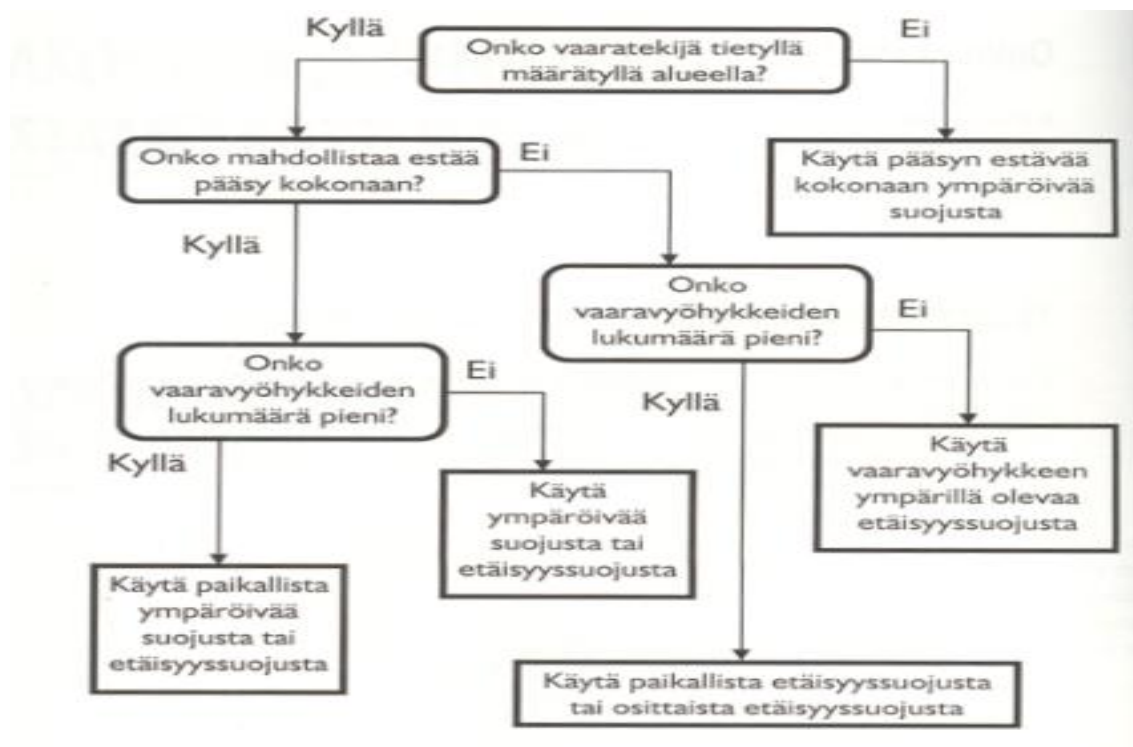
kuulosuojauksen takaamiseksi, tai käytettävä tuplasuojausta, mikä koostuu korvatulpista ja kuulosuojaimista.

4.1.6 Yhteenveto laitteiston turvallisesta käytöstä



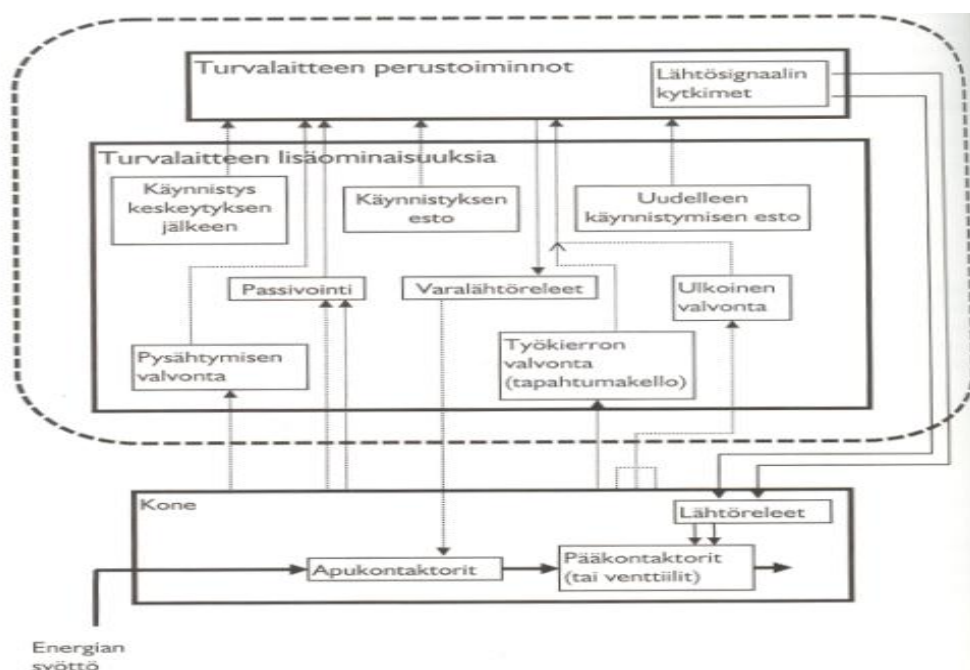
Kuva 20. Kaavio suojuksien käytöstä koneen liikkuvien osien yhteydessä /5/

Kaaviokuva esittää, kuinka suojattavan laitteiston eri osa-alueet eristetään ja niiden aiheuttamat riskit pyritään eliminoimaan joko eristämällä ne, tai estämällä ihmisen pääsy niiden luo laitteiston ollessa toiminnassa.



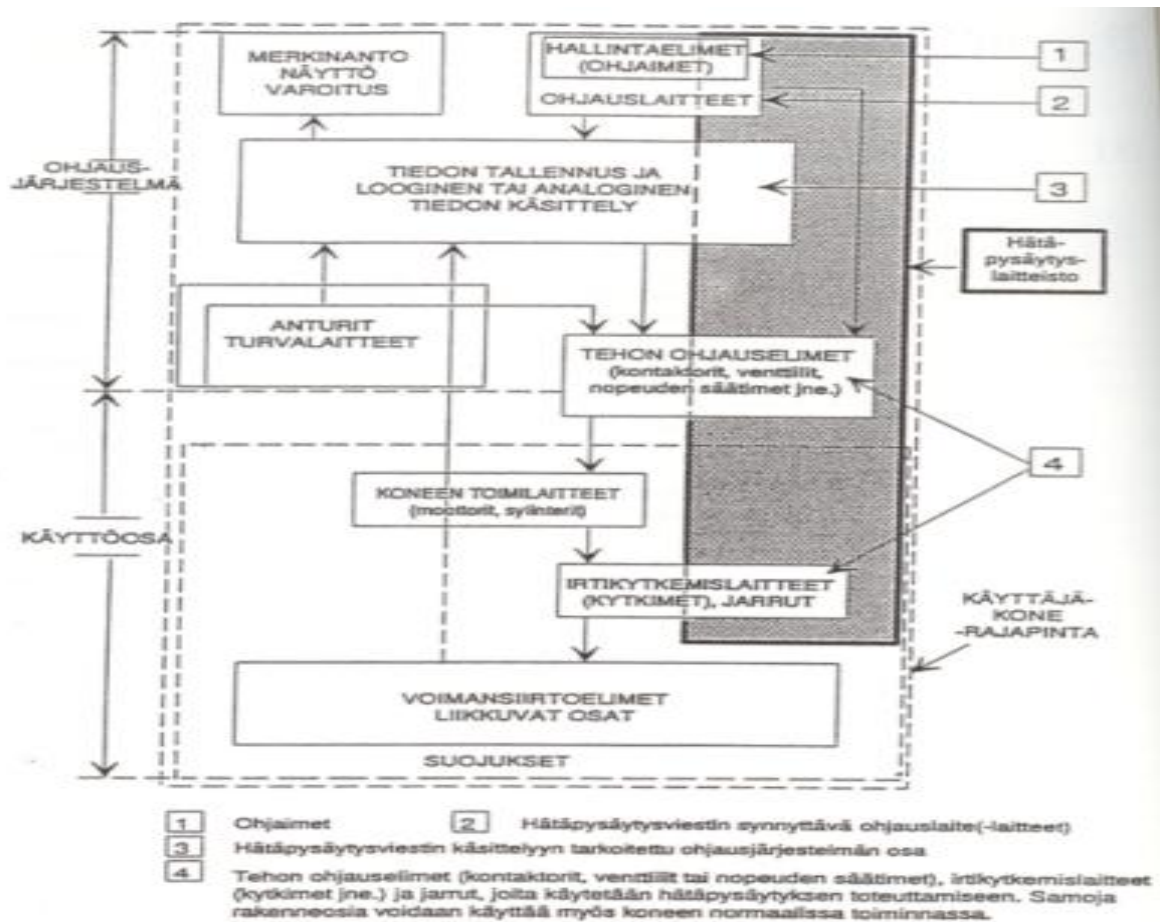
Kuva 21. Kaavio vaaravyöhykkeiden eristämisestä. /5/

Edellisessä kaaviossa on esitetty, kuinka vaaratekijän luo pääsy pyritään estämään joko etäisyysuojauksella tai paikallisella ympäröivällä suojauksella. Etäisyysuojaus voi olla joko osittainen ja sen tehtävänä on estää käyttäjän pääsy vaara-alueelle käytön aikana. Ympäröivä suojaus puolestaan pyrkii eristämään laitteiston sitä ympäröivästä alueesta kokonaan.



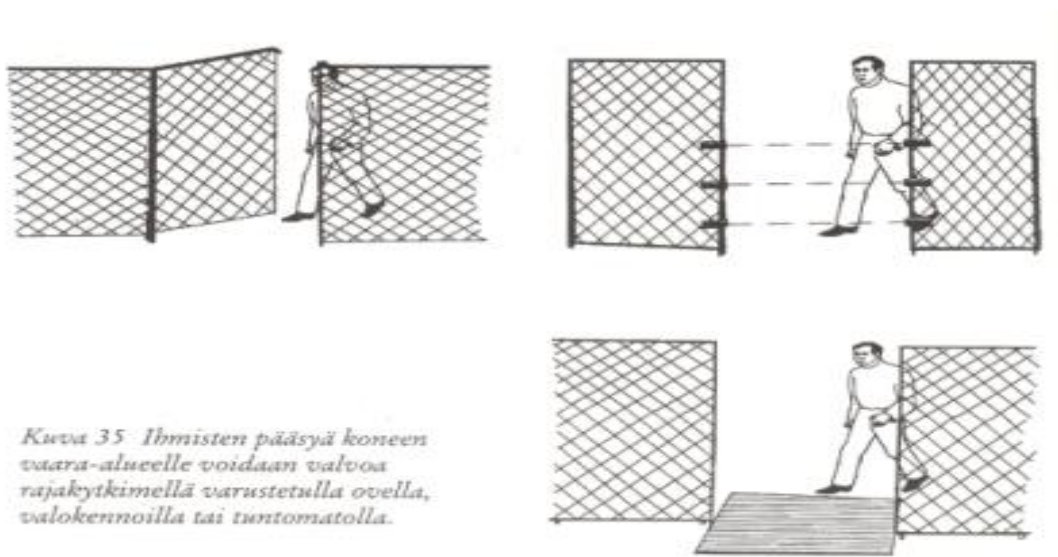
Kuva 22. Esimerkki turvalaitteen käytöstä ja sen toiminnoista. /5/

Kuvassa esitettyssä kaaviossa on eriteltyä turvalaitteen osa-alueet, jotka valvovat laitteiston toimintaa. Kytkennoilla pyritään siihen, ettei vaurion tapahtuessa ole mahdollisuutta tilanteeseen, jolloin pysäytyslaitteen tunnistimien vajaatoiminta estäisi moottorin pysäyttämisen



Kuva 23. Hätä seis-kytkimen kytkenän esimerkkikaavio. /5/

Edellinen kaavio havainnollistaa kuinka hätä seis-kytkin on anturien avulla kytketty käytettävän laitteiston vaarakohteisiin. Anturien havaitsema virheellinen toiminta aiheuttaa automaattisesti moottorin pysähtymisen tai dynamometrin kuormituksen nollauksen.



Kuva 24. Esimerkki erilaisten tunnistimien käytöstä laitteen hätä seis-kytkimenä./5/

Jotta edellä esitettyjä hätä seis-kytkimiä voitaisiin käyttää, tulisi dynamometrilaitteiston olla suljetussa tilassa, jonne pääsee vain ovea käyttämällä. Tällaista tilaa ei työtä suoritettaessa ollut käytössä, joten tyydyimme ratkaisuun, jossa käytetään dynamometrin ohjainlaitteessa olevaa hätä seis kytkintä. Myös päävirtakatkaisimella varmistettiin että moottori saadaan pysäytettyä tarpeen vaatiessa riittävän nopeasti vaaratilan uhatessa. Seuraavassa kuvassa on kuvattu dynamometrilaitteiston käyttöpaikka turvallisuuden parantamiseksi tehtyjen muutosten jälkeen.



Kuva 25. Moottoritehodynamometrilaitteiston uusi käyttöpaikka

Uudella moottoritehodynamometrilaitteiston kokoonpanolla pyrittiin käyttäjän turvallisuuden maksimointiin. Dynamometrilaitteiston ohjainlaitteen uudella sijoituksella haluttiin poistaa moottorin rikkoutumisesta aiheutuva vaara. Sen seurauksena jotain sinkoutuisi moottorin oikealle tai vasemmalle puolelle. Vanhassa dynamometrilaitteiston kokoonpanossa käyttäjä olisi ollut lähes suoraan tällä vaaravyöhykkeellä. Nykyisellä kokoonpanolla voidaan huolehtia siitä, ettei kukaan mene dynamometrilaitteiston vaara-alueelle käytön aikana. Vaara-alue alkaa dynamometrin ja moottorin välisen kardaaniakselin dynamometrin puoleisesta laipasta ja jatkuu dynamometrilaitteiston käyttäjän vastakkaiseen päähän.

Seuraavassa kuvassa on kuvattu dynamometrilaitteiston uusi kokoonpano käyttöpisteen vasemmalta puolelta nähdyn.

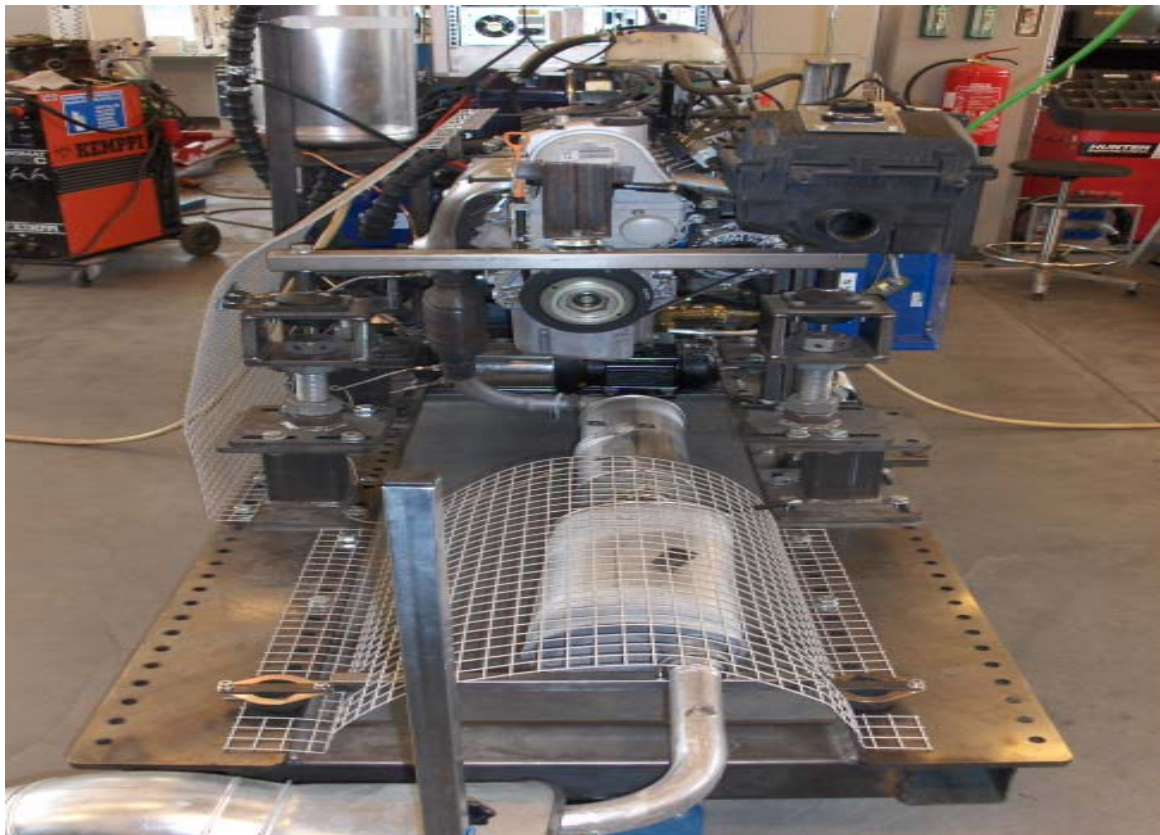


Kuva 26. Moottoritehodynamometrilaitteisto käyttäjän vasemmalta kuvattuna.

Kuvan oikeassa laidassa olevasta paneelistä erottuvat moottorin päävirtakatkaisin, akkulaturi ja dynamometrin jäähdytysvesipumpun käyttökatkaisin. Dynamometrin ohjausyksikön takana sijaitsee moottorin sähköjärjestelmälle tarkoitettu akku koteloituna. Kotelo on venekäyttöön tarkoitettu ja muovista valmistettu. Kotelo on kiinnitetty ohjausyksikön runkoon 1 mm

vahvuisella peltipannalla. Dynamometrilaitteistoa käytettäessä on aina huolehdittava siitä, ettei kukaan ole tällä puolella dynamometriä.

Seuraavassa kuvassa dynamometrilaitteisto on kuvattuna käyttäjään nähden vastakkaisesta päädyistä.



Kuva 27. Moottoritehodynamometrilaitteisto käyttäjän vastakkaisesta suunnasta kuvattuna.

Pakoputkiston uudelleen sijoittelulla ja suojauksella pyrittiin estämään ihokosketuksen mahdollisuus käytön aikana ja sen jälkeen, kunnes putkisto on jäähtynyt niin, ettei palovamman vaaraa ole. Dynamometrilaitteistoa käytettäessä on huolehdittava siitä, ettei kukaan ole tällä alueella. Lisäksi kuvan alareunassa näkyvää pakoputken ja pakokaasuimurin letkun väliin tulevaa välikappaletta on käytettävä aina imurin letkun sulamisvaaran takia.

Seuraavassa kuvassa dynamometrilaitteisto on kuvattuna käyttöpisteestä nähden oikealta puolelta.



Kuva 28. Moottoritehodynamometrilaitteisto käyttäjän oikealta puolelta kuvattuna.

Edellisessä kuvassa näkyvällä pakoputkiston suojaritilällä on pyritty estämään palovamman riskit estämällä ihokosketuksen mahdollisuus. Kuvassa näkyy myös välikappale, jota on käytettävä aina pakoputken ja pakokaasuimurin välillä dynamometriä käytettäessä.

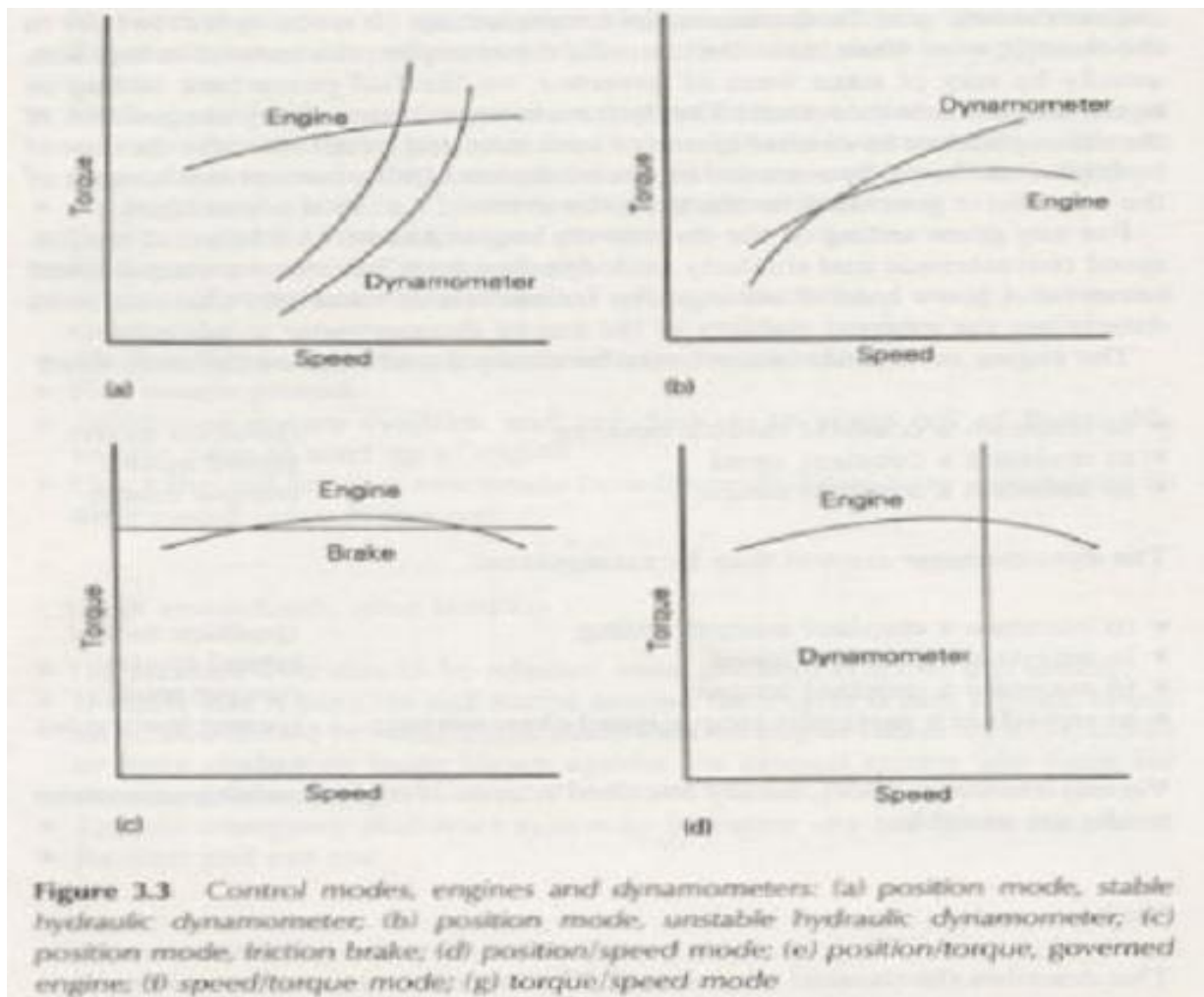
Dynamometrilaitteiston oikean puoleinen alue on myös vaara-alue. Käytön aikana on huolehdittava siitä, ettei kukaan mene tälle alueelle.

Riskikartoituksen ja turvallisuuden parantamistoimenpiteiden lisäksi laadittiin turvallisuusohje. Turvallisuusohjeen avulla dynamometriä käyttävä henkilö osaa tarkastaa ja tiedostaa riskikohteet ja varmistua niiden olevan kunnossa jokaisella kerralla ennen dynamometrin käytön aloittamista. Turvallisuusohje on liitteenä työn lopussa (Liite nro 4).

5 TYÖOHJEET

5.1 Moottorin vääntömomentti- ja tehokuvaajien määrittäminen, kuormitustilojen tutkiminen

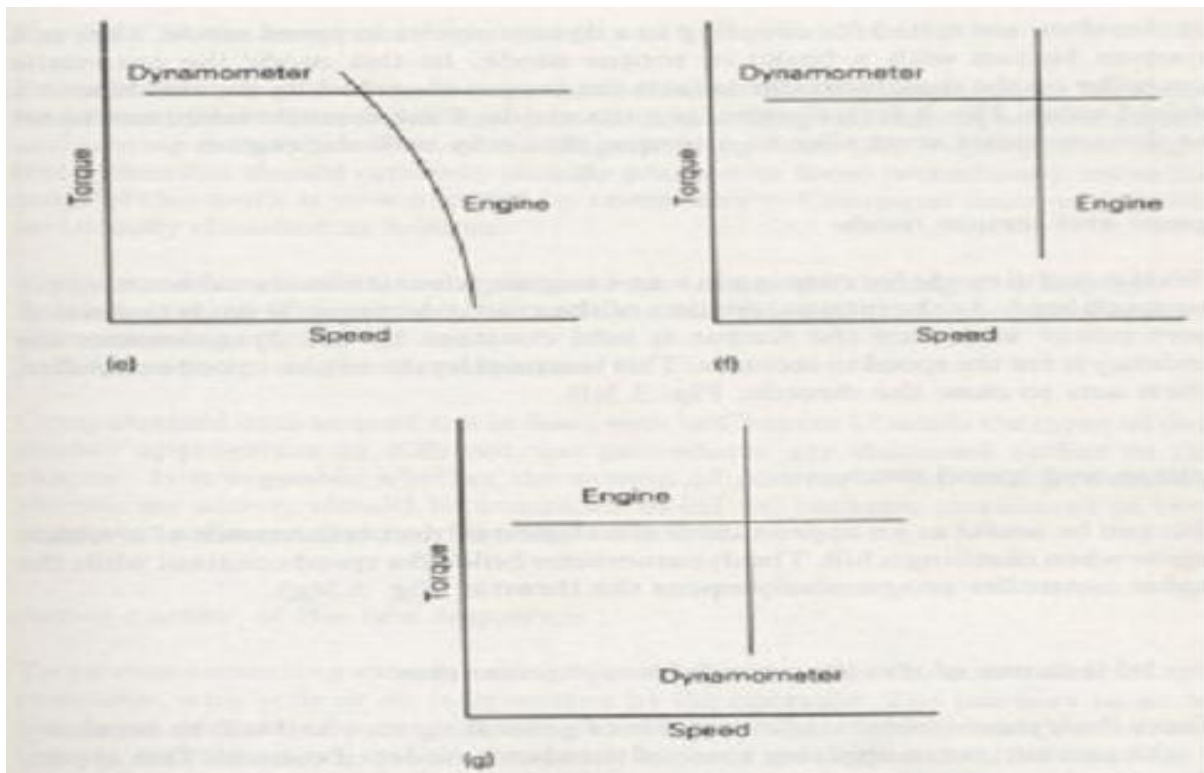
Työn yhtenä tarkoituksena oli laatia tuleville laboratorioskursseilaisille työohje siitä, kuinka moottoritehodynamometrillä suoritetaan moottoritekniikan perusmittauksia. Harjoitustyön tavoitteena on opettaa opiskelijalle moottoritehodynamometrin käytön perusteet. Työn suoritettuaan hänellä on edellytykset toimia esimerkiksi moottoreiden koekäyttäjän työtehtävissä. Työn suoritettuaan opiskelija tietää dynamometrin käytön perusteet ja osaa toimia itsenäisesti laitteiston käyttäjänä. Dynamometrilaitteiston käyttö on melko helppoa ja sen oppii nopeasti käytännön harjoittelulla. Seuraavissa kuvissa on esitetty muutamia ominaisuuksia laitteiston eri ohjaustoimintojen käytöstä moottoreita testattaessa.



Kuva 29. Dynamometrien ja moottorien ohjauskuvaajia /1/

Kuvassa ylärivissä esitetyt ohjausmuodot käsittelevät hydraulisen dynamometrin ohjausta. Koska autolaboratorion dynamometri toimii pyörrevirta-periaatteella, ei näiden ohjausmuotojen käsittely ole oleellista tässä yhteydessä. Kuvassa alhaalla vasemmalla oleva ohjausmuoto on tarkoitettu kitkajarru-periaatteella toimivan dynamometrin ohjaukseen. Myös tämä ohjausmuoto on jätetty tarkastelematta. Kuvassa alhaalla oikealla oleva kuvaaja havainnollistaa dynamometrin position & speed -ohjausmuotoa. Ohjausmuotoa käytettäessä moottorin kaasuläpän avautuma asetetaan halutuksi kaasuläpän ohjaimen avulla. Dynamometrin ohjain on varustettu säätimellä, joka säätelee jarrumomentin siten, että moottorin pyörimisnopeus pysyy vakiona kaasuläpän avautumasta ja vääntömomentista riippumatta. Ohjausmuotoa käytetään usein moottorin vääntömomenttikuvaajien määrittämiseen eri kuormitustilanteissa.

Seuraavassa kuvassa on esitetty lisää dynamometrin ohjausmuodoista, joita hyödynnetään moottoria testattaessa.



Kuva 30. Dynamometrien ja moottoreiden kuvaajia, jatkuu /1/

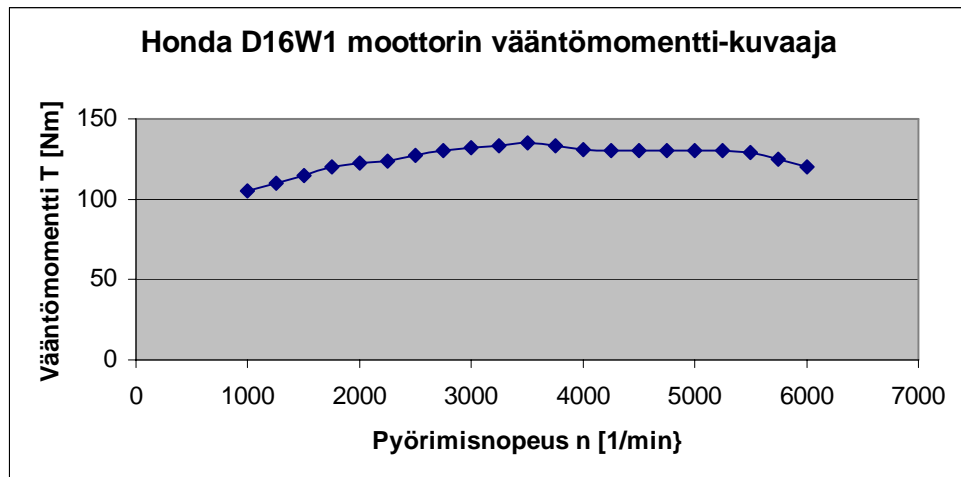
Kuvassa vasemmalla ylärivissä oleva kuvaaja esittää moodia, joka on tarkoitettu pyörimisnopeussäätimellä varustettuihin moottoreihin (useimmat diesel-moottorit), joissa on ominaisuutena vääntömomentin lisääminen kuormituksen kasvaessa, jotta pyörimisnopeus pysyisi ennallaan. Ohjausmuodossa dynamometrin ohjain säätelee jarrutusmomentin haluttuun arvoon. Ohjaus on melko vakaa, mutta on syytä varoa säätämästä dynamometrin momentin ohjausta arvoon, joka ylittää moottorin suurimman momentin ja tällä tavoin aiheuttaa moottorin ylikuormittamisen ja pysähtymisen.

Kuvassa ylhäällä oikealla esitetty speed & torque -ohjausmuoto on hyödyllinen tutkittaessa moottorin vääntömomenttia eri pyörimisnopeuksilla ja kuormitusasteilla. Speed & torque – ohjausmuodon avulla moottoria voidaan kuormittaa asettamalla pyörimisnopeuspyynti halutuksi ja selvittää tällä tavoin moottorin suurin vääntömomentti kyseisellä pyörimisnopeudella ja kaasuläpän avautumalla. Ohjausmuotoa käytettäessä on syytä huolehtia siitä, ettei haluttu pyörimisnopeus ole kytkentävaiheessa merkittävästi pienempi kuin senhetkinen moottorin pyörimisnopeus. Tämä aiheuttaa dynamometrin jarrumomentin äkillisen lisäyksen ja mahdollisesti laitteiston rikkoutumisen.

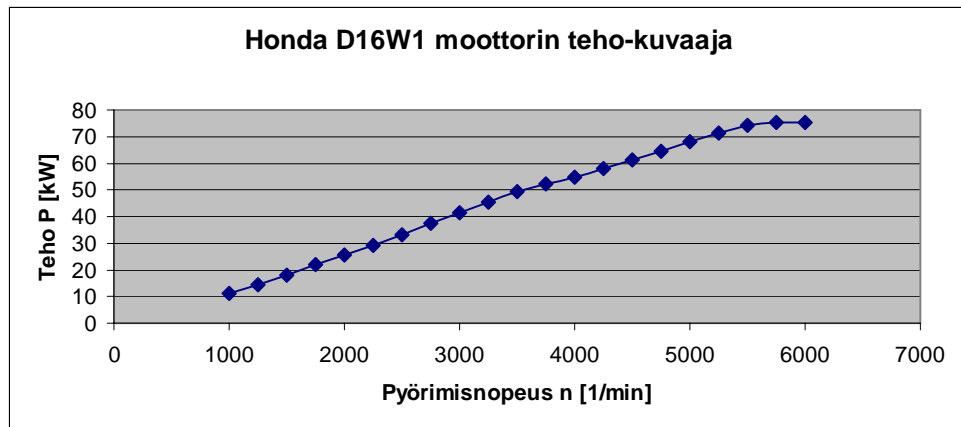
Kuvassa alhaalla esitetty torque & speed – ohjausmuoto on hyödyllinen moottorin osakuormitusta tutkittaessa. Ohjausmuodossa dynamometrin ohjaimella ohjataan dynamometrin jarrumomenttia. Moottorin pyörimisnopeutta ei ohjata millään tavoin. Ohjausmuoto on hyödyllinen lähinnä moottorin lämmityskäytössä. Jos moottorin pitää tuottaa tarkasti määritelty vääntömomentti tietyllä pyörimisnopeudella, on tämä ohjausmuoto parempi sen tutkimiseen dynamometrin tarkemman ohjauksen vuoksi.

Yhteenvetona voidaan todeta, että tarpeellisin ohjausmuoto on speed & torque – ohjausmuoto. Työskennellessäni Diesel-moottoreiden koekäytössä, olen joutunut käyttämään sekä speed & torque- ja torque & speed – ohjausmuotoja dynamometrin ohjauksessa. Koska autolaboratorion dynamometrilaitteistossa on Otto-moottori, jää torque & speed – ohjausmuoto mielestäni tarpeettomaksi. Tämä johtuu siitä, että moottori on varustettu kaasuläpän ohjaimella, jolla voidaan säätää moottorin tuottamaa vääntömomenttia. Dynamometrin ohjaimesta voidaan säätää pyörimisnopeus halutun suuruiseksi, jonka jälkeen kaasuläpän ohjaimella voidaan tutkia moottorin tuottamaa vääntömomenttia moottorin kuormitusastetta säätämällä.

Seuraavissa kuvissa on esitetty tehodynamometrissä käytetyn Honda D16W1 moottorin vääntömomentti- ja tehokuvaajat sellaisina kuin Hondan tehdas on ne ilmoittanut.



Kuva 31 Honda D16W1 moottorin alkuperäinen vääntömomenttikuvaaja täydellä kuormalla

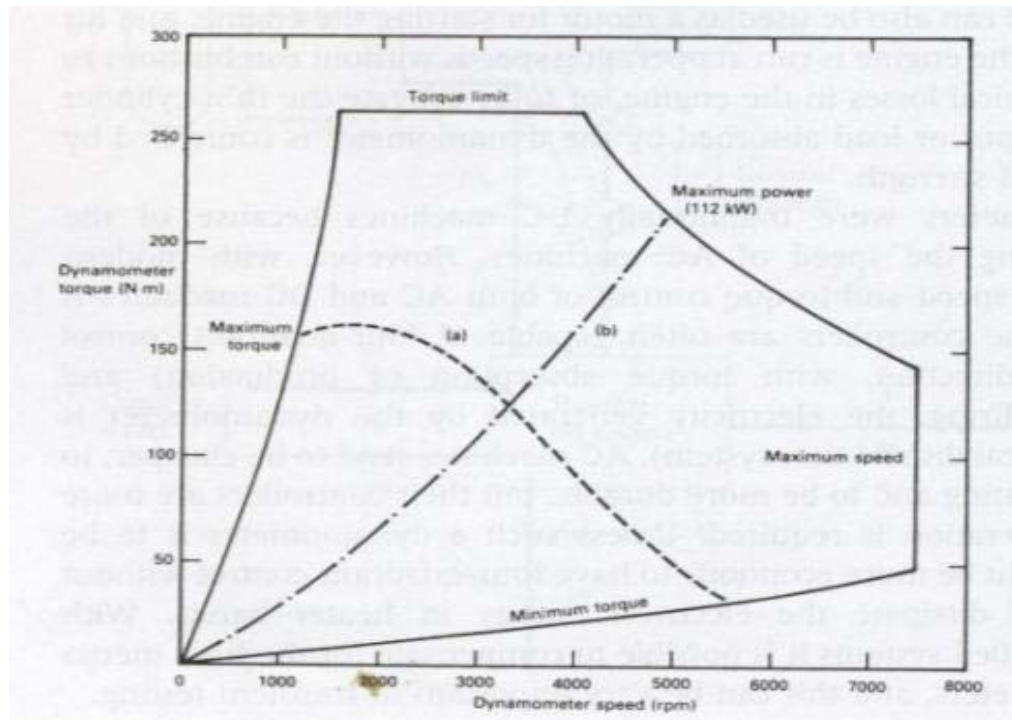


Kuva 32. Honda D16W1 moottorin alkuperäinen tehokuvaaja täydellä kuormalla.

Tehtaan ilmoittama 77 kilowatin huipputeho moottorille saavutettaisiin pyörimisnopeudella 6200 1/min, mutta koska dynamometrilaitteiston kytkimelle ilmoitettu maksimipyörimisnopeus on vain 6000 1/min, ei huipputehoa tästä syystä voida saavuttaa. Samasta syystä johtuen edellä esitettyjen kuvaajien asteikko loppuu myös pyörimisnopeuteen 6000 1/min.

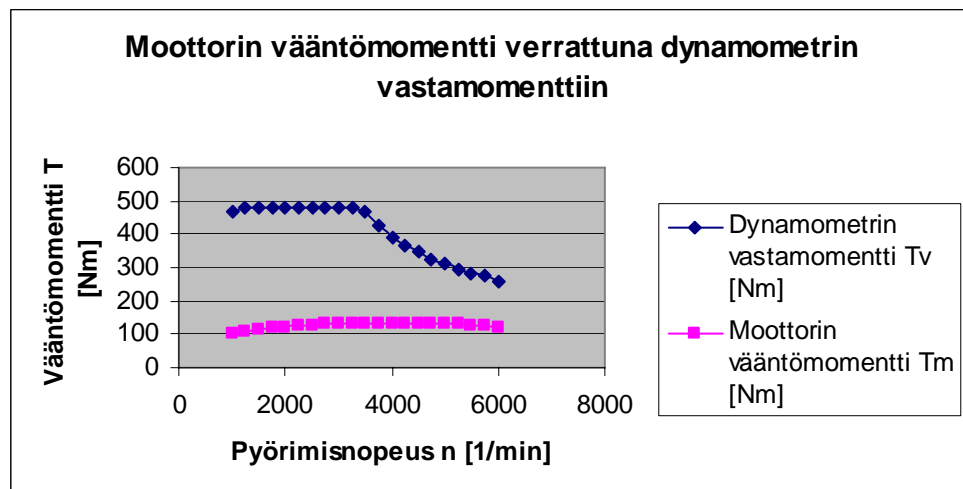
Seuraavissa kuvissa puolestaan on esitetty kuvaajat moottorin vääntömomentti- ja tehokuvaajat moottorinohjauksen parametrien arvojen säätämisen jälkeen.

Seuraavassa kuvassa on esitetty, kuinka dynamometrin jarrumomentin maksimiarvon suuruus asettaa rajoituksia testattaville moottoreille. Mikäli moottorin tuottaman vääntömomentin suuruus on isompi kuin dynamometrin suurin jarrumomentti, ei moottoria voida testata ja säätää kuin siihen kuormitusasteeseen asti, jolla moottori tuottaa dynamometrin jarrumomentin maksimiarvoa vastaavan vääntömomentin.



Kuva 33. Moottorin vääntömomentti- ja tehokuvaajat, sekä dynamometrin tuottama jarrumomenttikuvaaja. /3/

Seuraavassa kuvassa on esitetty käytössä olevan tehodynamometrin tuottama maksimi jarrumomentti ja sitä on verrattu moottorin valmistajan ilmoittamaan vääntömomenttikuvaajaan. Kuvasta voidaan todeta, ettei moottorin tuottama vääntömomentti ole missään vaiheessa lähellä dynamometrin jarrumomentin maksimiarvoa. Moottoria voidaan testata täydellä kuormitusalueella ja mahdollisesti myös virittää, mikäli se koetaan opetuskäytössä tarpeelliseksi.



Kuva 34. Moottorin vääntömomentti verrattuna dynamometrin tuottaman vastamomentin maksimiarvoon.

Kuvaajat voidaan määrittää edellisessä kappaleessa esitetyillä torque & speed tai speed & torque-moodia käyttämällä.

Esimerkiksi speed and torque -moodilla moottorin pyörimisnopeus nostetaan ensin suurimpaan arvoonsa, jonka jälkeen dynamometrin pyörintänopeutta säädetään. Tämä tarkoittaa, että vääntömomenttikuvaajaa seurataan periaatteessa väärään suuntaan, eli maksimikierroksilta tyhjäkäynnille päin. Dynamometrin ohjain säättää jarrumomenttia siten, että pyörimisnopeus säilyy ohjauspyynnin mukaisena, kuitenkin tuottamatta sellaista kuormaa, joka ylittäisi moottorin tuottaman vääntömomentin missään vaiheessa.

Osakuormakuvaajia määritettäessä moottoria vastaavasti jarrutetaan säätämällä jarrumomenttia siten, että jokaisesta mittauspisteestä saadaan 25 %, 50 %, tai 75 % teho samalla pyörimisnopeudella kuin 100 % kuormitusasteen kuvaajan pisteissä.

Liitteessä 5 on esitetty työohje jota on tarkoitus käyttää kuormitusilanteiden simulointien suoritusten yhteydessä.

5.2 Moottorin hyötysuhteen ja polttoaineen ominaiskulutusdiagrammin määrittäminen

Työn tavoitteena on tutkia kuinka moottorinohjausparametrien arvojen muutokset vaikuttavat polttoaineen ominaiskulutukseen ja moottorin hyötysuhteeseen. Työn suoritettuaan opiskelijalla on edellytykset toimia esimerkiksi moottoritehtaissa moottorin polttoainetalouden optimointiin liittyvissä työtehtävissä. Opiskelija kykenee työskentelemään esimerkiksi tutkimusinsinöörin työtehtävissä polttomoottorilaboratorioissa. Opiskelijalla on myös edellytykset toimia ajoneuvon voimansiirron suunnittelutehtävissä. Hän ymmärtää kuinka voimansiirron välityssuhteiden valinta vaikuttaa ajoneuvon polttoainetalouteen.

Polttoaineen ominaiskulutusdiagrammien määrittämiseen tarvitaan dynamometrilaitteiston lisäksi polttoainevaakaa, jotta voidaan mitata kuinka paljon moottori kuluttaa polttoainetta kussakin kuormitusasteessa. Näin menettelemällä voidaan piirtää polttoaineen ominaiskulutusdiagrammi, eli niin sanottu simpukkadiagrammi moottorin kulutuksesta koko käyntinopeusalueella.

Koska ammattikäyttöön tarkoitetut polttoaineet ovat kalliita ja menetelmässä voidaan käyttää halvempia ja yksinkertaisempia ratkaisuja, on niitä syytä käyttää.

Ominaiskulutusmittauksen suorittamisessa voidaan käyttää normaalia vaakaa, jonka asteikko on yltää grammojen tarkkuuteen. Autolaboratoriossa on tarkoitukseen soveltuva vaaka, jota voidaan hyödyntää tällaisessa käytössä ja sen tarkkuus on 0,1 grammaa. Vaaka on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 35. Polttoaineenkulutuksen mittaukseen soveltuva vaaka.

Mittaus suoritetaan kuormittamalla moottoria edellisessä luvussa esitettyjen esimerkkien mukaisesti eri kuormituspisteissä. Kunkin mittausjakson aikana vähentynyt polttoainemäärä mitataan, ja lasketaan tämän perusteella ominaiskulutus, joka saadaan seuraavasta kaavasta/2/:

$$be = B/P_{eff},$$

jossa

be = polttoaineen ominaiskulutus [g/kWh]

B = kulutetun polttoaineen tilavuus – tai massa tiettyä aikayksikköä kohden [kg/h] tai [dm³/h]

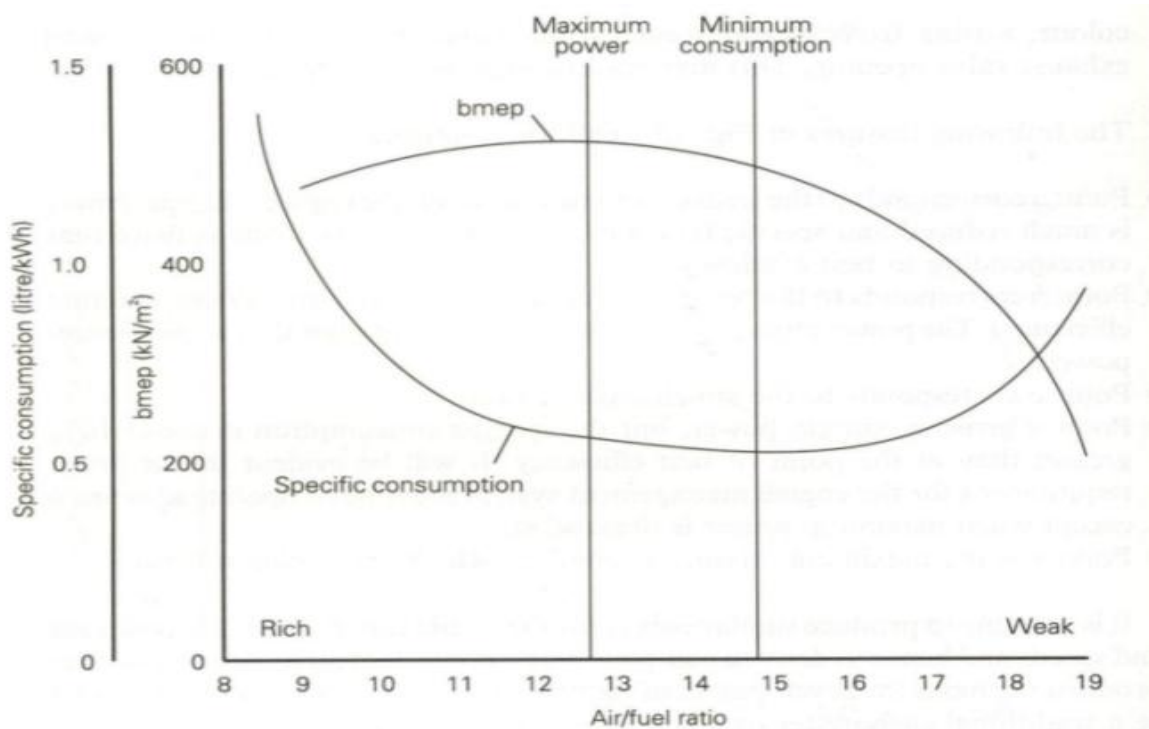
P_{eff} = Akseliteho (nettoteho) [kW]

Mahdollisimman tarkan lopputuloksen saavuttamiseksi on aiheellista suorittaa useita mittauksia eri kuormituspisteissä, mahdollisesti n. 50 - 100 kpl, sekä suorittaa mittauksia tiuhemmalla kuormitusporrastuksella, kuin 25 %, 50 %, 75 % ja 100 % pisteillä. Mittauksia suoritettaessa on aiheellista käyttää vakiota ajanjaksoa polttoaineen kulutuksen mittauksessa. Aika voi olla esim.

30-60 sekuntia. Ennen mittauksen aloittamista on syytä huolehtia myös siitä että moottorin käynti ja jäähdytysnesteen lämpötila on tasaantunut.

Lisäksi mittauksia tulee suorittaa melko tiuhalla pyörimisnopeusporrastuksella. Esimerkiksi aikaisemmin esitetyissä kuvissa käytetty 250 rpm porrastus tuntuisi järkevältä ratkaisulta.

Liitteenä 1 olevassa työohjeessa on esitetty polttoaineen ominaiskulutuksen määrittäminen käytännössä.

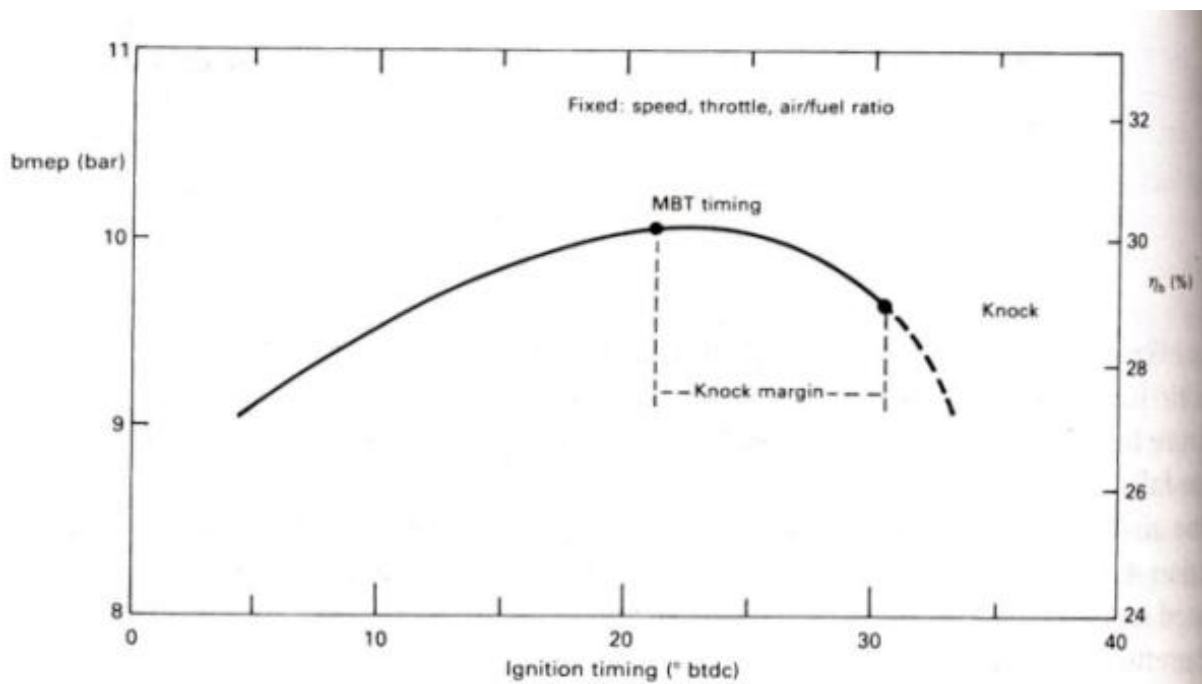


Kuva 36. Polttoaineen ominaiskulutuksen, tehollisen keskipaineen ja moottoritehon välinen yhteys. /1/

Polttoaineen ja ilman seossuhteella on monia vaikutuksia otto-moottorin käyttöominaisuuksiin ja palotapahtumaan, joten tämä on syytä ottaa huomioon moottoria säädettäessä. Moottori kykenee toimimaan seossuhteilla 8:1–20:1 sekä tästäkin laihemmilla seoksilla, mikäli käytetään polttoaineen kerrossyöttöä ja laihaseosmoottoreita. Seuraavassa on esitetty muutamia määritteitä, jotka ovat tärkeitä. /1/

- Seoksen vahvuus. Laihalla tarkoitetaan tilannetta jossa ilmaa on enemmän kuin tarvittaisiin ja rikkaalla vastaavasti tilannetta jossa polttoainetta on enemmän kuin tarvittaisiin. /1/
- Ilma-seossuhde. Ilmamassan suhde polttoaineen massa. /1/

- Stökiometrinen seossuhde. Ilma-seossuhde, jossa ilmaa on juuri tarvittava määräpolttoaineen täydelliseen palamiseen. Suurin osa bensiineistä tarvitsee täydelliseen palamiseen noin 14-15 kg ilmaa ja arvoa 14,5 kg voidaan pitää nyrkkisääntönä. Alkoholit, joiden koostumukseen sisältyy enemmän happea, tarvitsevat täydelliseen palamiseen vain 7-9 kg ilmaa. /1/
- Ilmakerrointa kuvataan kreikkalaisella kirjaimella λ (lambda) ja tällöin puhutaan lambdakertoimesta. Asteikon arvo ulottuu välille 0,6-1,5, jossa pieni luku ilmaisee rikkaasta seoksesta ja suuri luku laihasta seoksesta. /1/

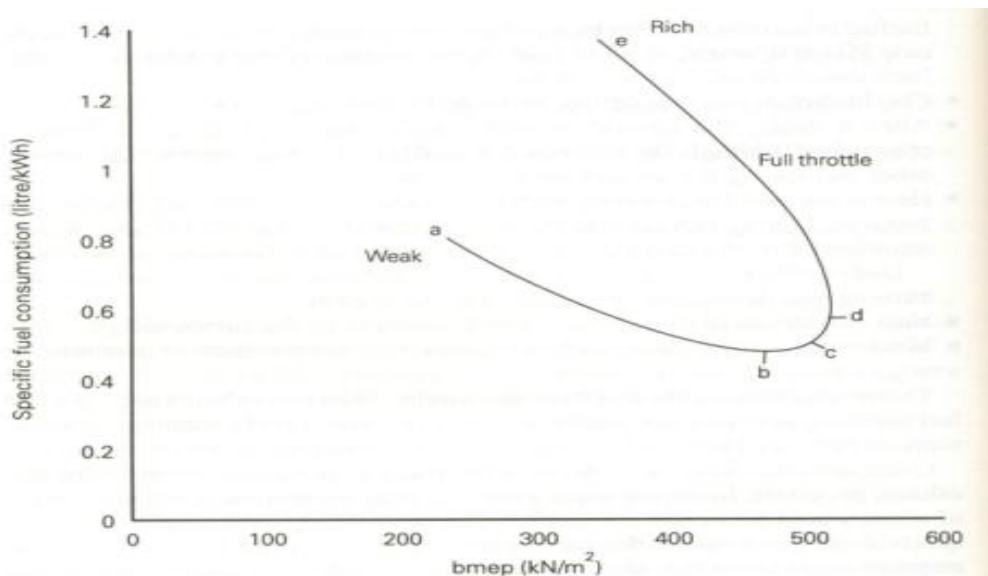


Kuva 38. Sytytyksen ajoituksen, tehollisen keskipaineen ja hyötysuhteen yhteys./3/

Edellisessä kuvassa on esitetty kuinka sytytysennakko tulisi optimoida parasta hyötysuhdetta varten. Kuvassa oleva piste MBT tarkoittaa pienintä ennakkoa suurimman vääntömomentin saavuttamiseksi (Minimum advance for Best Torque) /3/

Sytytyksen ajoituksella on myös merkittävä vaikutus polttoaineen palamiseen ja moottorin hyötysuhteeseen. Jos sytytyksen ajoitus on liian myöhäinen, tästä seuraa polttoaineen palamisesta syntyvän painehuipun siirtyminen hetkeen, jolla mäntä on jo ohittanut yläkuolokohdan. Tämän seurauksena myös moottorin tuottama teho pienenee. Lisäksi on vaara, että osa palamisesta tapahtuu poistotahdin aikana, mikä voi aiheuttaa pakovoventtiilin ylikuumentumisen. /3/

Toisaalta, jos sytytys on liian aikaisella, tapahtuu polttoaine-ilmaseoksen palaminen liian aikaisin. Tämä aiheuttaa palamispaineen nousemisen liian korkeaksi, mikä voi aiheuttaa tarpeettoman suuria rasituksia moottorin osiin kasvaneen lämpökuormituksen ja voimakkaan, räjähdysnomaisen palamisen seurauksena. /3/ Tällöin puhutaan nakutuksesta. Nakutusilmiön ehkäisyä varten on kehitetty antureita, joiden avulla moottorinohjausjärjestelmä osaa itse säätää ennakkoa edellä mainitun ilmiön välttämiseksi.

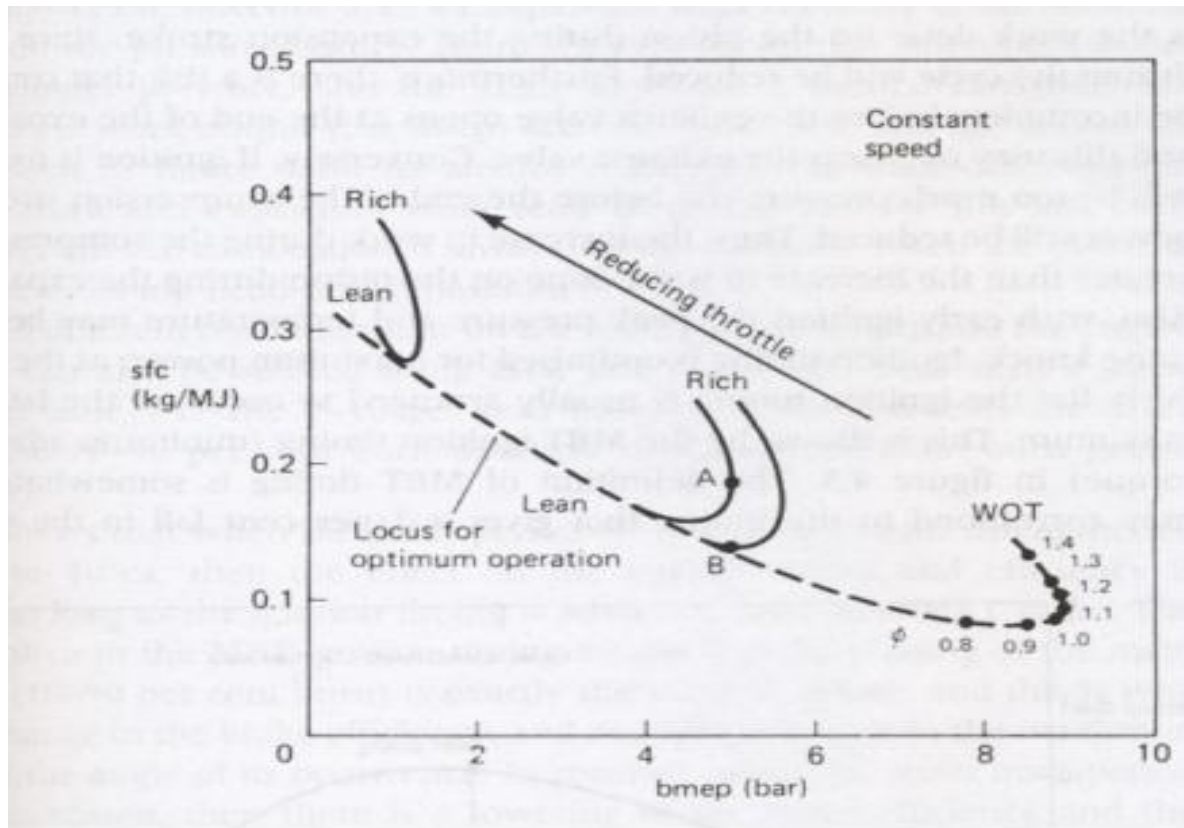


Kuva 39. Polttoaine-ilma seossuhteen vaikutus teholliseen keskipaineeseen ja polttoaineen ominaiskulutukseen.

Edellisessä kuvaajassa kirjaimilla merkityillä pisteillä on seuraavat merkitykset:

- Piste a vastaa tilannetta jossa polttoaine-ilma seos on laihin mahdollinen, jolla moottori käy. Teho on alentunut merkittävästi ja polttoaineen ominaiskulutus saattaa olla kaksi kertaa niin suuri, kuin parhaan hyötysuhteen pisteessä. /1/
- Piste b vastaa moottorin parhaan suorituskyvyn pistettä, toisin sanoen tilannetta jossa terminen hyötysuhde on parhaimmillaan. Teho on noin 95 % huipputehosta. /1/
- Piste c vastaa tilannetta, jossa polttoaine-ilmaseos on stökiometrinen eli ilmakeroin on 14,7:1 /1/
- Piste d vastaa tilannetta, jossa saadaan maksimiteho moottorista, mutta polttoaineen ominaiskulutus on noin 10 % suurempi kuin suurimman termisen hyötysuhteen pisteessä. On selvää että moottorinohjausta säädettäessä moottori toimisi pisteessä b, paitsi tilanteessa jossa vaaditaan suurinta tehoa. /1/
- Piste e on rikkain mahdollinen polttoaine-ilma seos, jolla moottori voi käydä. /1/

On mahdollista laatia samanlaisia kuvaajia kaikille kaasuläpän asennoille ja pyörimisnopeuksille ja näin optimoida polttoaine-ilmaseos kaikille moottorin kuormitustilanteille. Tätä on myös hyödyllistä käyttää moottorinohjausjärjestelmän parametrejä laadittaessa. Seuraavassa kuvassa on esitetty useamman kuvaajan laatimisen periaate.

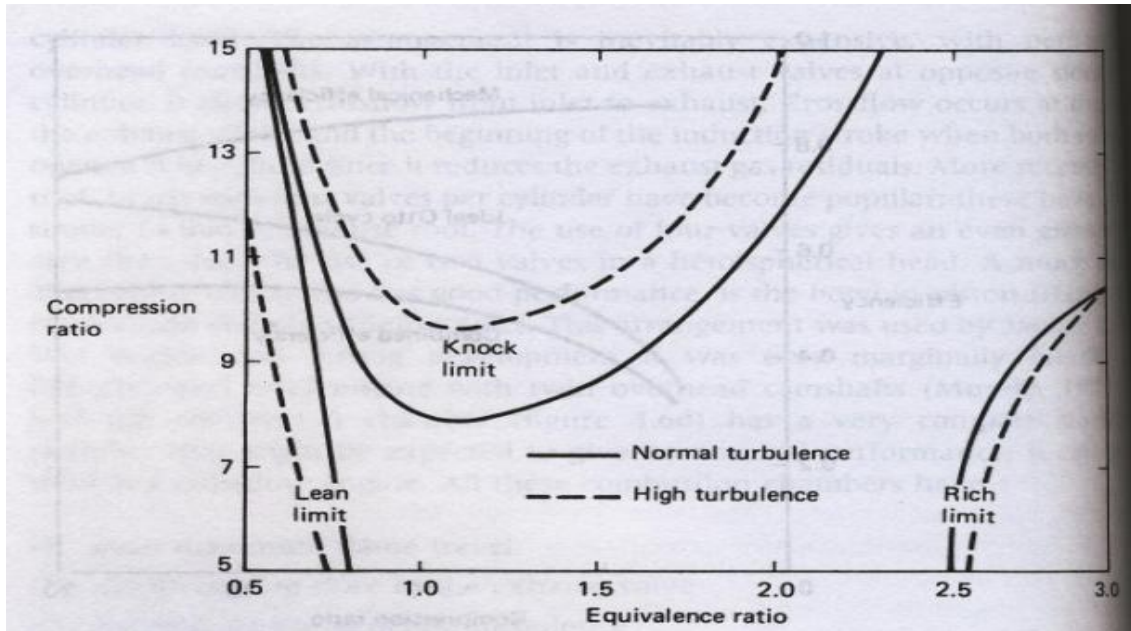


Kuva 40. Polttoaine-ilmaseossuhteen vaikutus ominaiskulutukseen ja teholliseen keskipaineeseen.

Kuvassa on esitetty sama asia, kuin kuvassa 39, mutta siinä on lisäksi merkitty kuvaajat osakuorma-alueille. Kuvassa alimmaisena oleva kuvaaja havainnollistaa täydellä kaasuläpän aukeamalla suoritettavaa mittausta ja ylempänä kuvassa olevat kuvaajat havainnollistavat osakuormatilanteiden seossuhteen vaikutusta moottorissa tapahtuvan palamisen tuottamaan teholliseen keskipaineeseen.

Pystyakselilla kuvaajassa on polttoaineen ominaiskulutus kilogrammoina megajoulea kohden ja vaaka-akselilla on polttoaineen palamisen tuottaman tehollisen keskipaineen suuruus baareina. Kuvaan merkityt arvot 1,4...0,8 kuvaavat polttoaineen seossuhteen suuruutta. Tässä on syytä huomioda että puhutaan juuri polttoaine-ilma seossuhteesta, eikä toisinpäin. Joissain lähteissä nimittäin saatetaan asiasta puhua toisinpäin ja tällöin esimerkiksi kerrotaan moottorin tuottavan

suurimman tehon seossuhteella 0,8–0,9. Kuvaajan alaosassa oleva merkintä WOT tarkoittaa täysin avattua kaasuläppää (Wide Open Throttle) Kuvaajasta voidaan todeta samat asiat kuin aikaisemmastakin kuvasta, eli suuremmalla polttoaineen syöttömäärällä saadaan enemmän tehollista keskipainetta ja tällä tavoin suurempi vääntömomentti moottorista, mutta tämä puolestaan kasvattaa polttoaineen ominaiskulutusta.



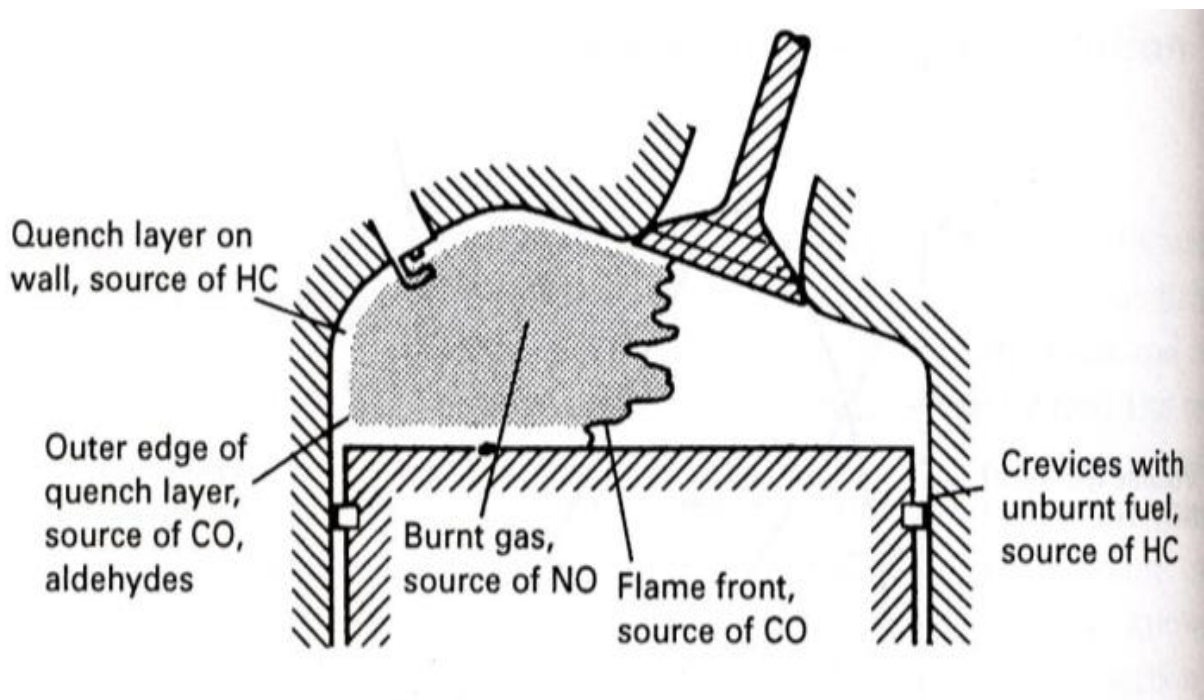
Kuva 41. Moottorin puristussuhteen, imuilman pyörteilyn ja polttoaine-ilma-seossuhteen vaikutus nakutukseen Otto-moottorissa. /3/

Edellisessä kuvassa on esitetty polttoaine-ilma seossuhteen, ilman pyörteilyn ja moottorin puristussuhteen vaikutus Otto-moottorissa ei-toivottuun nakutus-ilmiöön, joka aiheutuu polttoaineen liian nopeasta palamisesta. Kuvaajasta voidaan todeta, että herkimmillään nakutusta ilmenee helpoimmin seossuhteella 1-1,2. Voidaan myös todeta että imuilman pyörteilyllä on suuri vaikutus siihen, kuinka helposti nakuttavaa palamista ilmenee. Tämä on helposti ymmärrettävissä sillä, että voimakkaasti pyörteilevään ilmaan polttoaine sekoittuu paremmin ja palaa tällöin tasaisemmin ja tehokkaammin. Kuvasta voidaan todeta myös, että imuilman ollessa suuressa pyörreliikkeessä, mahdollistaa se korkeamman puristussuhteen käyttämisen moottorissa ilman nakuttamisen vaaraa. Moottoria voidaan myös käyttää hiukan rikkaammilla ja laihemmilla polttoaine-ilmaseossuhteilla.

5.3 Moottorin pakokaasupäästöjen vähentäminen

moottorinohjausjärjestelmän avulla

Moottorin päästöjen muodostumisessa merkittävimmät tekijät itse moottorin mekaanisen suunnittelun ja rakennetoteutusten lisäksi ovat moottorinohjausjärjestelmän parametrien arvot.



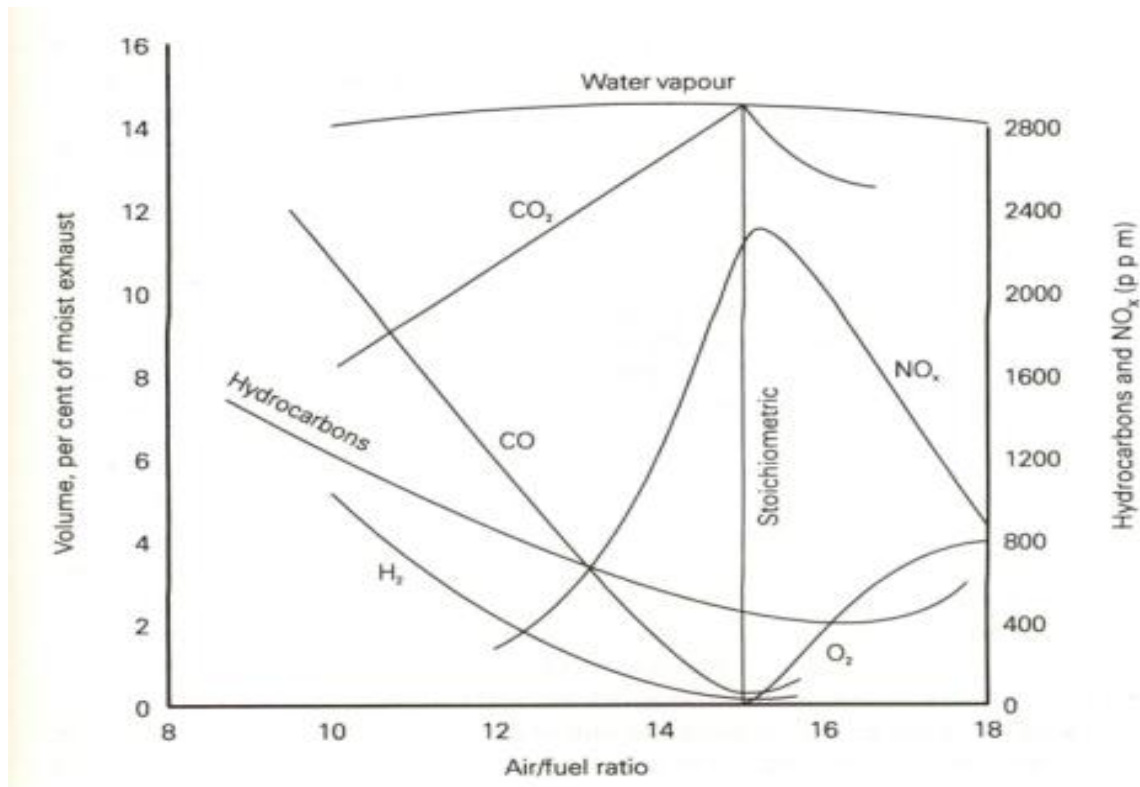
Kuva 42. Moottorin tuottamien pakokaasupäästöjen muodostumisalueet. /3/

Edellisessä kuvassa on esitetty merkittävimmät pakokaasupäästöt, sekä alueet missä ne muodostuvat palotapahtuman aikana.

Parametreilla tarkoitetaan arvoja, jotka määräävät moottorin toiminnan eri kuormituspisteissä, näistä tärkeimpinä esimerkkeinä polttoaineen suihkutussuuttimen aukioloaika millisekunneissa ja sytytyksen ennakon ajoituksen arvot asteina ennen yläkuoloaikoja.

Työtä suoritettaessa on tarkoituksena tutkia polttoaineen suihkutusaajan, sytytysennakon ja pakokaasupäästöjen välistä yhteyttä. Käytännössä tällä on tarkoitus selvittää, kuinka polttoaineen suihkutusaika, sytytysennakon suuruus ja moottorin kuormitusaste vaikuttavat eri pyörimisnopeuksilla moottorin tuottamiin pakokaasupäästöihin. Tarkoituksena on myös selvittää kuinka moottorin tuottamia pakokaasupäästöjä voidaan pienentää. Työn suorittamisen jälkeen

opiskelijalla on edellytykset toimia moottoreiden pakokaasupäästöjen vähentämiseen keskittyvissä työtehtävissä. Opiskelija ymmärtää kuinka moottorinohjausparametrien arvojen muutokset vaikuttavat pakokaasupäästöjen muodostumiseen. Opiskelija voi toimia esimerkiksi moottoritehtaassa tutkimusinsinöörin työtehtävissä, joiden pyrkimyksenä on vähentää moottorin pakokaasupäästöjä.



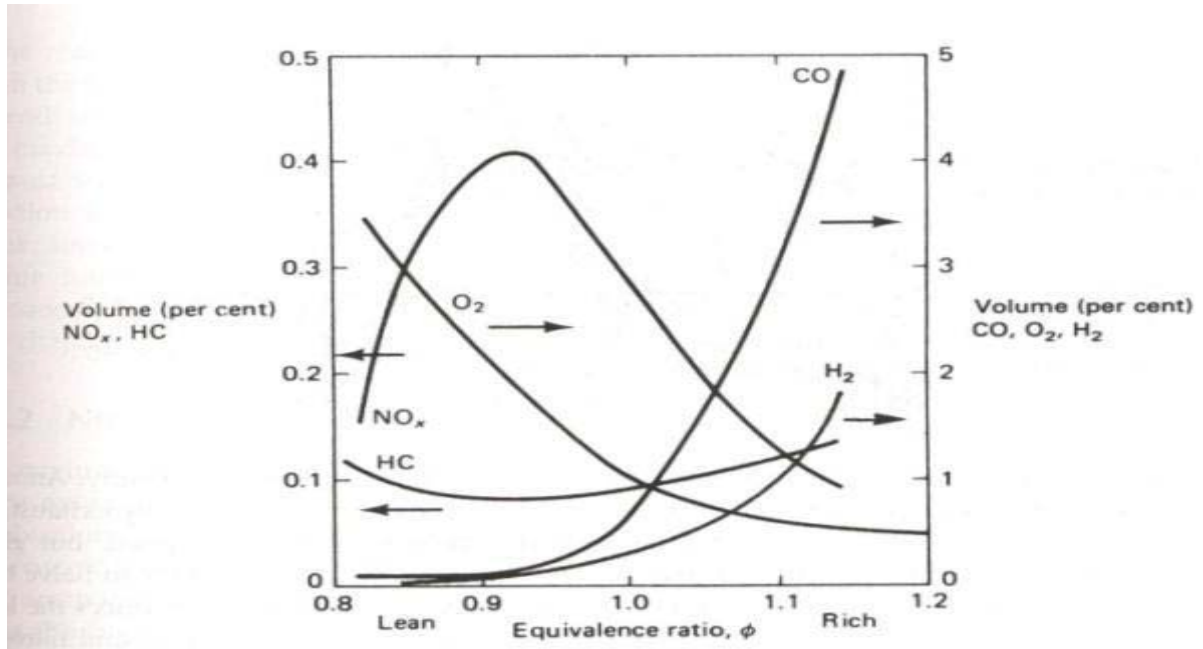
Kuva 43. Moottorin tuottamat pakokaasupäästöt polttoaine-ilmaseossuhteen funktiona. /1/

Edellisessä kuvassa on esitetty, kuinka pakokaasupäästöjen määrä muuttuu polttoaine-ilmaseossuhteen funktiona.

Merkittävimmät päästöt bensiinikäyttöisessä moottorissa ovat CO (Häkä), HC (palamattomat hiilivedyt) ja Nox (typen oksidit). On ilmeistä että pakokaasupäästöjen kannalta parhaaseen kompromissiin pääsemiseksi on hyvin kapea seosalue stökiömetrisen seossuhteen lähellä, mutta siinäkin vain CO-arvo on lähellä minimiarvoaan. Ongelman ratkaisuksi on kaksi keinoa, moottorisuunnittelun parantaminen tai pakokaasujen jälkikäsittelyn käyttäminen. /1/

Seuraavassa kuvassa on tarkasteltu päästöjen muuttumista seossuhteen funktiona tilavuusprosentteissa. Seossuhde alueena on 0,8...1,2. Seossuhde 0,8 ilmaisee polttoaine-ilma-seoksen olevan rikas, jolloin polttoainetta poltetaan enemmän kuin stökiömetrinen palaminen

edellyttäisi. Seossuhde 1,2 vastaavasti ilmaisee polttoaine-ilma-seoksen olevan laiha, jolloin moottorissa poltetaan polttoainetta vähemmän kuin stökiometrinen palaminen edellyttäisi. Stökiometrinen palaminen tapahtuu polttoaine-ilma-seossuhteella 1,0, jolloin yhtä kulutettua polttoaine kilogrammaa kohden kulutetaan 14,7 kg ilmaa.

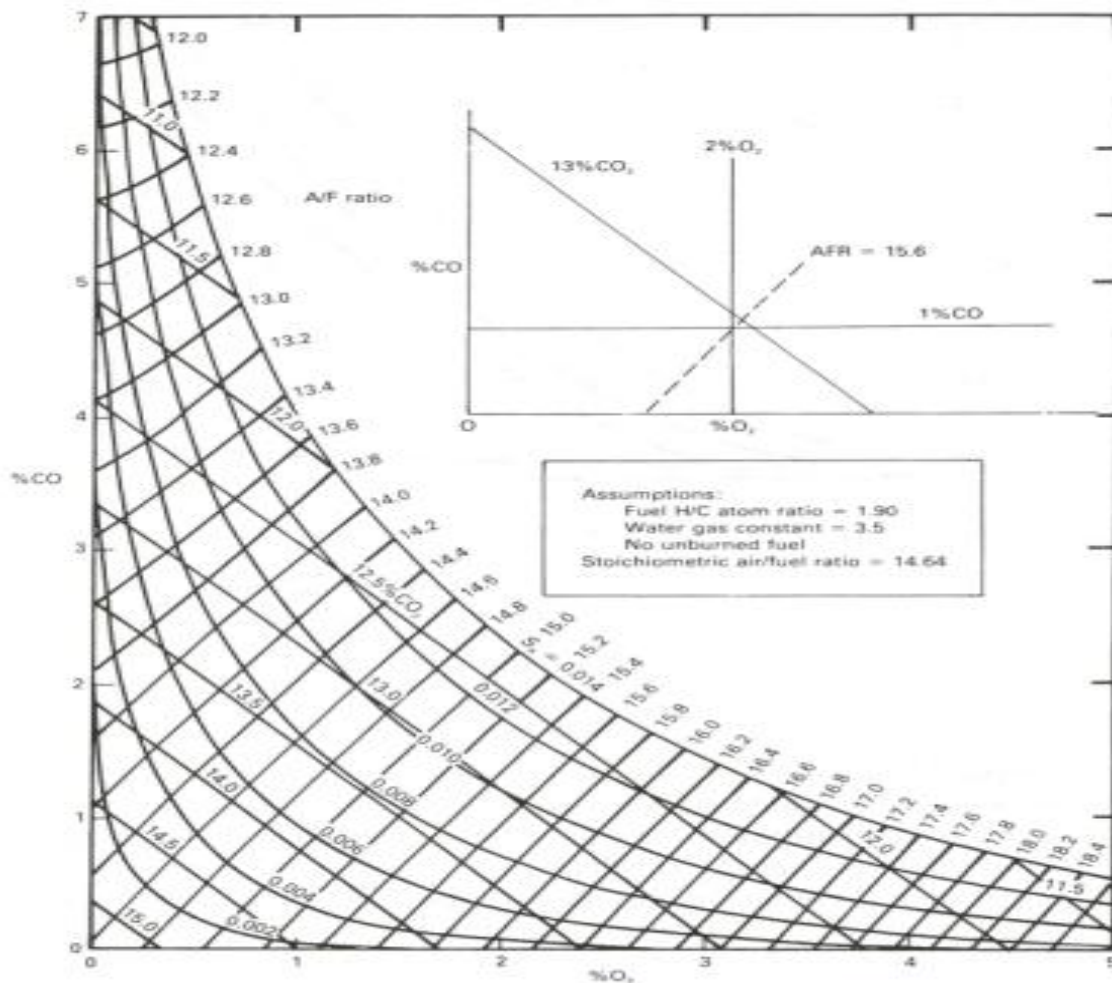


Kuva 44. Moottorin tuottamat pakokaasupäästöt polttoaine-ilmaseossuhteen funktiona. /3/

Seuraavassa kuvaajassa on kuvattu pakokaasupäästöjen muodostumista, ja sitä, kuinka päästöt vaikuttavat toisiinsa. Kuvassa pystyakselilla on CO- eli häkä arvo prosenteissa mitattuna. Vaaka-akselilla on esitetty pakokaasujen O₂:n- eli hapen määrä prosenteissa mitattuna. Kuvaajassa vasemmalle alaviistoon kulkevat viivat kuvaavat polttoaine-ilmaseossuhteen suuruutta välillä 12,0–18,4 kaarimaiset viivat kuvaavat CO₂:n eli hiilidioksidin määrää prosenteissa.

Kuvaajaa laadittaessa on käytetty seuraavia oletuksia:

- polttoaineen hiili/vety atomisuhde on 1,9
- veden kaasuuntuminen jatkuvasti 3,5
- ei palamatonta polttoainetta
- stökiometrinen seossuhde 14,64 (kg ilmaa / poltetu kilo bensiiniä)



Kuva 45. Moottorin tuottamat pakokaasupäästöt polttoaine-ilmaseossuhteen funktiona. /3/

6 TEHODYNAMOMETRILAITTEISTON JATKOKEHITYSIDEAT JA MAHDOLLISUUDET

6.1 Moottoritehodynamometri laitteistoon liittyvät toimenpiteet

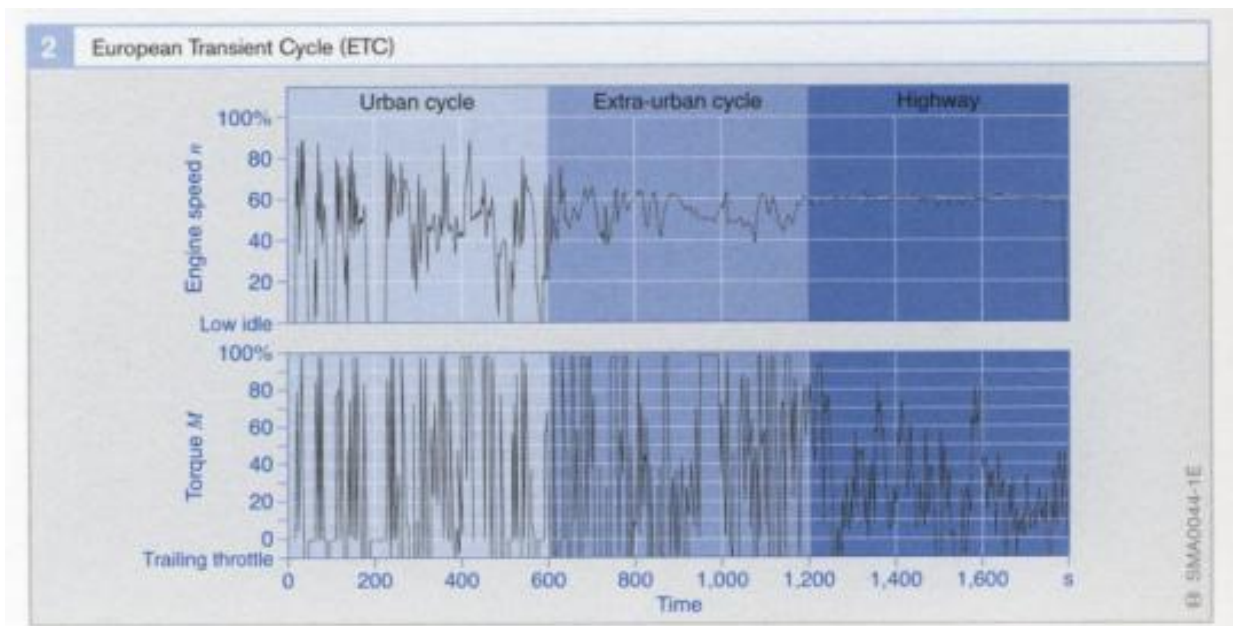
6.1.1 Moottoritehodynamometrilaitteiston ohjaaminen tietokoneen avulla

Koska dynamometrin ohjainlaitteessa on mahdollisuus ohjata sitä myös tietokoneella, on tämä ominaisuus, joka olisi syytä ottaa käyttöön. Näin menetellen päästäisiin eroon kaikista turvallisuusriskeistä, koska laitteiston lähelle ei tarvitsisi mennä sen käydessä. Lisäksi saataisiin käyttöön monia tietokoneohjelmallisesti hoidettavia ominaisuuksia/testejä.

Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset testisyklit, joissa esimerkiksi. syntyvien kokonaispäästöjen määrän on oltava alle tietyn rajan, eikä näiden testien määrä tule vähenemään tulevaisuudessa.

Tietokoneohjelman avulla voitaisiin ajaa moottorilla testisykli läpi automaattisesti ja tiedonkeruun avulla tulkita, kuinka päästöjä muodostuu missäkin tilanteessa.

Tällaiseen testaukseen tietokone-ohjaus olisi välttämättömyys, sillä esimerkiksi Transient-testisyklin ajaminen läpi käsiohjauksella on liki mahdottomuus. Testisykli on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 46. Raskaan kaluston moottoreille suoritettava ETC-sykli. /4/

Ehkä tunnetuin ohjelma tällaiseen käyttöön on National Instrumentsin LabVIEW-ohjelmisto, joka on yleisimmin käytetty ohjelmisto teknisissä laboratorioissa. Lisäksi se on helposti muunneltavissa eri sovelluksien vaatimuksiin soveltuvaksi. Ohjelman sovelluksia on käytössä moottorien testauksessa esimerkiksi Teknillisen Korkeakoulun polttomoottorilaboratoriossa Otaniemessä ja Agco Sisu Powerilla Linnavuorella Nokialla.

Ohjelmiston käytöstä tällaisessa tarkoituksessa on tehty myös yksi opinnäytetyö aikaisemmin, joten sen pohjalta on hyvät edellytykset lähteä jatkamaan tietokoneohjauksen ja ohjelmiston käyttöönottoa. Työn on tehnyt vuonna 2007 Jari Savolainen, ja teoksen nimi on ”Dynamometrin Labview-ohjauksen suunnittelu”.

6.1.2 Laitteiston sijoittaminen Is-konttiin

Luvussa 4 esitettyjen vaaratekijöiden vuoksi kustannustehokkain ratkaisu järjestelmän sijoitukseen ja turvallisuuskysymyksiin olisi järjestelmän sijoitus Is-rahtikonttiin. Näin menettelemällä molemmat ongelmat tulisivat kerralla ratkaistuksi. Kontteja on saatavissa ainakin 20 jalkaa ja 40 jalkaa (6 m ja 12 m) pitkinä versioina, joten tilaa ne tarjoavat kohtuullisen hyvin tähän tarkoitukseen. Seuraavassa kuvassa on esitetty otsikon mukainen Is-kontti.



Kuva 47. IS rahdinkuljetuskontti.

Kuvassa oleva kontti on varustettu päätyovilla, mutta sitä on saatavissa myös sivuilta avattavana mallina. Tällaisella kontilla varustelu- ja käyttömahdollisuudet paranisivat merkittävästi.

Järjestelmän käyttöä puoltaa myös se seikka, että useat moottorivalmistajat ovat ottaneet kyseisen menetelmän käyttöönsä ja tarjoavat asiakkailleen avaimet käteen -periaatteella toteutettuja testisoluratkaisuja. Etuina voidaan mainita myös se seikka, että tällä tavoin laitteiston ylläpito ja siivouksen suorittaminen olisi helppoa, koska esimerkiksi nestevuodon sattuesssa koko kontin sisäosa voitaisiin pestä painepesurilla ilman erityisiä riskejä laitteiston rikkoutumisesta, ja likavesi saataisiin johdettua helposti pois kohteesta verrattuna isossa avoimessa tilassa toimimiseen.

Lisäksi tähän ratkaisuun siirryttäessä päästäisiin jatkoa ajatellen melko pienellä työmäärällä kokonaisuutta ajatellen, sillä itse dynamometrilaitteisto voitaisiin siirtää pyörillään suoraan kontin sisälle ja keskittyä pääasiassa kontin kytkentöjen tekemiseen siten, että saataisiin riittävä ilmanvaihto sisään menevälle raitisilmalle ja ulostulevalle poistoilmalle.

Teollisissa ratkaisuihin on usein toteutettu valvomotila kontin sisälle, jolloin järjestelmä on periaatteessa siirrettävissä helposti kuorma-auton lavalla tai perävaunussa paikasta toiseen. Tällä tavalla järjestelmä saadaan helposti käyttöön uudessa sijoituskohteessa.

Tutkittavassa tapauksessa tämä ei olisi välttämätön ratkaisu, sillä järjestelmää luultavasti käytetään lähinnä koulun alueella laboratoriotöiden yhteydessä. Mielestäni kyseessä on kuitenkin hyvää mainosta tarjoava ratkaisu, joten idean jatkokehitysajatuksia ei ole syytä unohtaa. Esimerkiksi erilaisilla opetusmessuilla olisi luultavasti hyvää pr:ää koululle kuljettaa kontti mukana alueelle ja järjestää havainnollistamisesityksiä sen avulla. Tällaista mainostoimintaa ei liene muilla ammattikorkeakouluilla vielä ole.

6.1.3 Laitteiston sijoittaminen rakennuksessa olevaan tilaan

Koska laitteisto tuottaa käydessään merkittävästi ääntä ja on keskeisellä paikalla autolaboratoriota, ei sen täysipainoinen testikäyttö ole mahdollista siten, ettei se häiritsisi muiden opiskelijoiden työskentelyä. Tämän takia olisi edullista, jos laitteisto voitaisiin sijoittaa kohteeseen, tilaan jossa olisi riittävä äänieristys. Edellisessä kappaleessa esitetty kuormakontti ratkaisu olisi helpoin ratkaisu, mutta sen toteuttaminen esteettisesti hyvin asettaa haasteita.

Tällä tavoin olisi myös helpompi saada tietokonepohjainen tiedonkeruu- ja ohjausjärjestelmä käyttöön. Näin käyttöturvallisuuskin paranisi merkittävästi verrattuna siihen, että dynamometriä ohjattaisiin laitteiston vierestä. Dynamometrin käyttäjien työskentelymotivaation uskoisi nousevan myös tällä tavoin korkeammalle tasolle ja tulosten laatu ja tarkkuus paranisi.

Autolaboratorion nurkassa oleva ovilla varustettu tila olisi hyvä lähtökohta tällaiselle testisolulle. Tilan seinille voitaisiin järjestää hyllytilat tarvittavalle oheislaitteistolle ja pakokaasuletkun tai –putkiston rakentamisella tila olisi periaatteessa valmis tällaiseen käyttöön. Uskon että tilan seinät ja ovet ovat sen verran hyvin ääntä eristävää materiaalia, ettei dynamometrilaitteiston aiheuttaisi tämän jälkeen minkäänlaista häiriötä muulle laboratoriotyöskentelylle.

Ratkaisun toteuttamisen esteenä kuitenkin on se, että tila on juuri varustettu Formula Student auton kehitystiimille, mikä ilmeisesti on tehokkaampi keino oppilaiden taitojen parantamiseen tällä hetkellä. Lisäksi tilassa on iso sähköpääkeskus, joten jos jotain hajoa dynamometrilaitteistosta ja päätyy tähän keskukseen, ovat seuraukset varmasti vakavat.

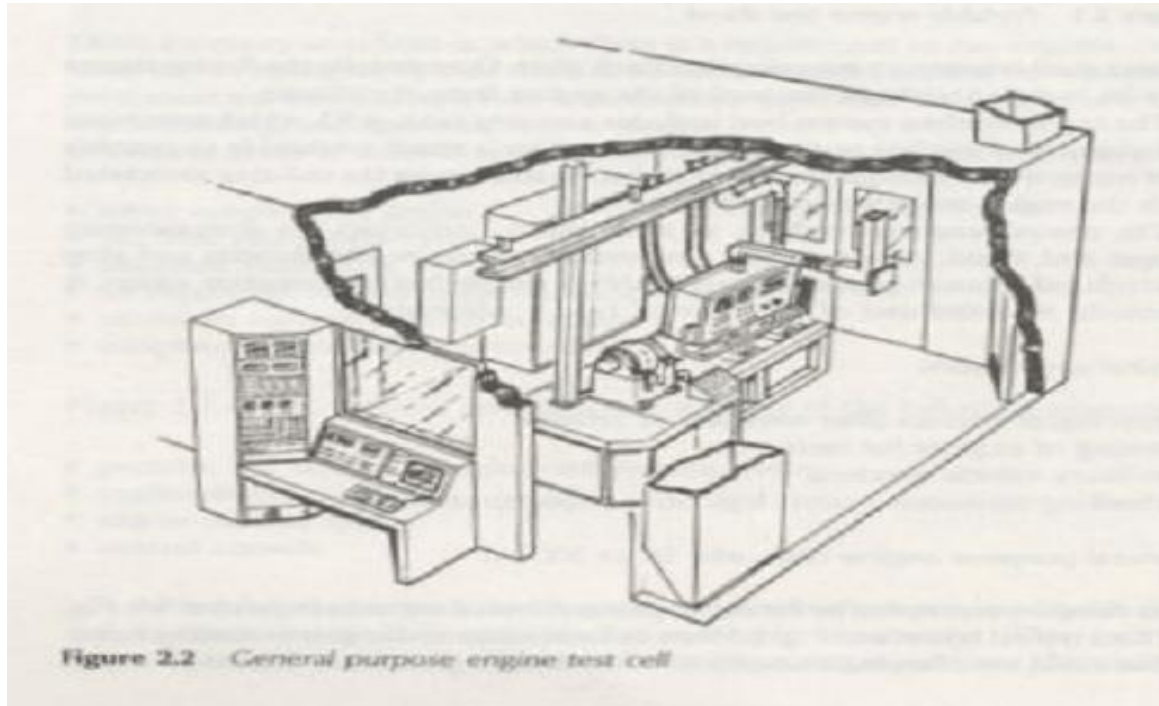
Autolaboratorion yhteydessä on myös osienpesukoneelle tarkoitettu tila, ja pesukoneen käyttö on saamieni tietojen mukaan nykyisin niin harvinaista, ettei olisi suuri menetys vaikka siitä luovuttaisiin kokonaan. Tila olisi siinä mielessä tarkoitukseen soveltuva, että sinne tulee moottoridynamometrin jäähdytystä varten riittävä vesikierto, ja se olisi eristetty muuten muusta autolaboratorion työtilasta. Tämä takaisi sen, ettei muuta laboratoriotyöskentelyä haittaavaa melua muodostuisi liikaa, eikä dynamometrin täysipainoinen käyttö aiheuttaisi muitten työskentelyä vaarantavia riskejä onnettomuuden tapahtuessa. Seuraavassa kuvassa on esitetty osienpesukoneelle varattu tila nykyisessä asussaan.



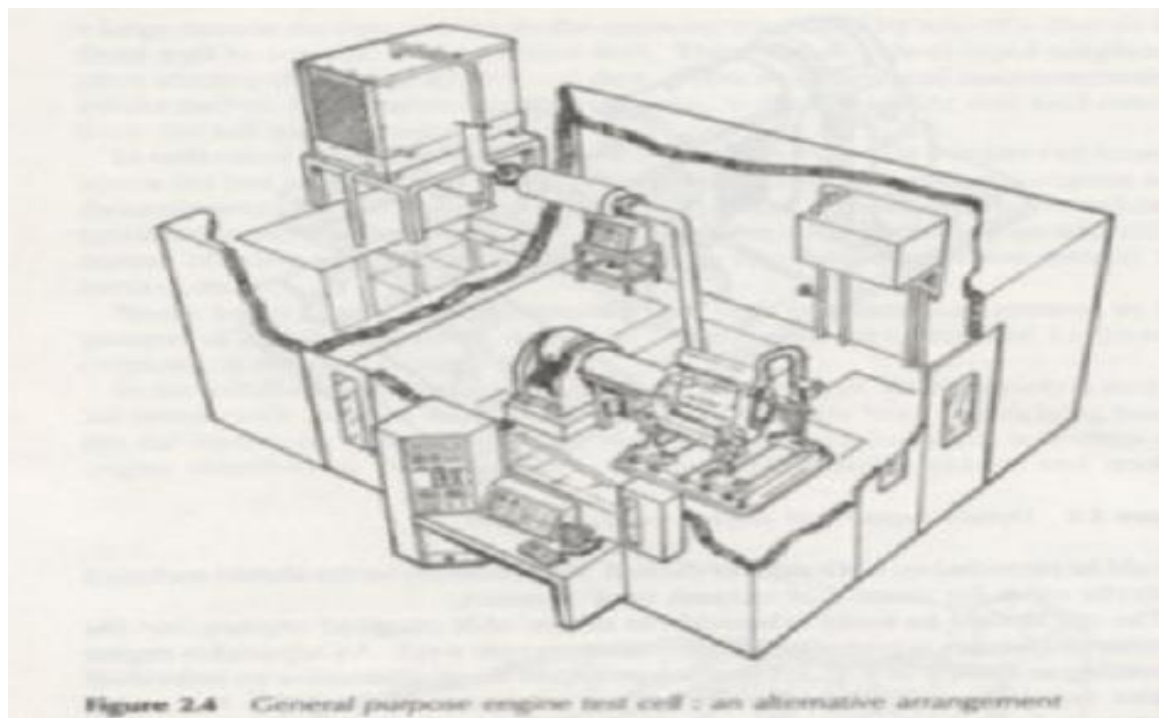
Kuva 48. Osienpesukoneelle varattu tila, joka olisi soveltuva dynamometrin sijoituspaikaksi tulevaisuudessa

Edellisessä kuvassa esitelty pesukoneen vaatima tila vaatisi muutoksia tuuletuksen ja pakoputkiston ulosjohtamisen toteutuksessa, mutta olisi muuten soveltuva tarkoitukseen. Lisäksi tilan ovelta pesukoneeseen on nykyisin 2,8 metriä välimatkaa ja dynamometriteline on 2,5 metriä pitkä, joten siirtämällä kuvassa näkyvä pyörillä varustettu teline pois tilasta, mahtuisi dynamometrilaitteisto tilaan sellaisenaan.

Seuraavissa kuvissa on esitetty eräitä ratkaisuita testisolutoteutuksista, joissa valvomo on eristetty itse moottorin käyttötilasta.



Kuva 49. Esimerkki 1 moottorin testisoluratkaisusta /1/

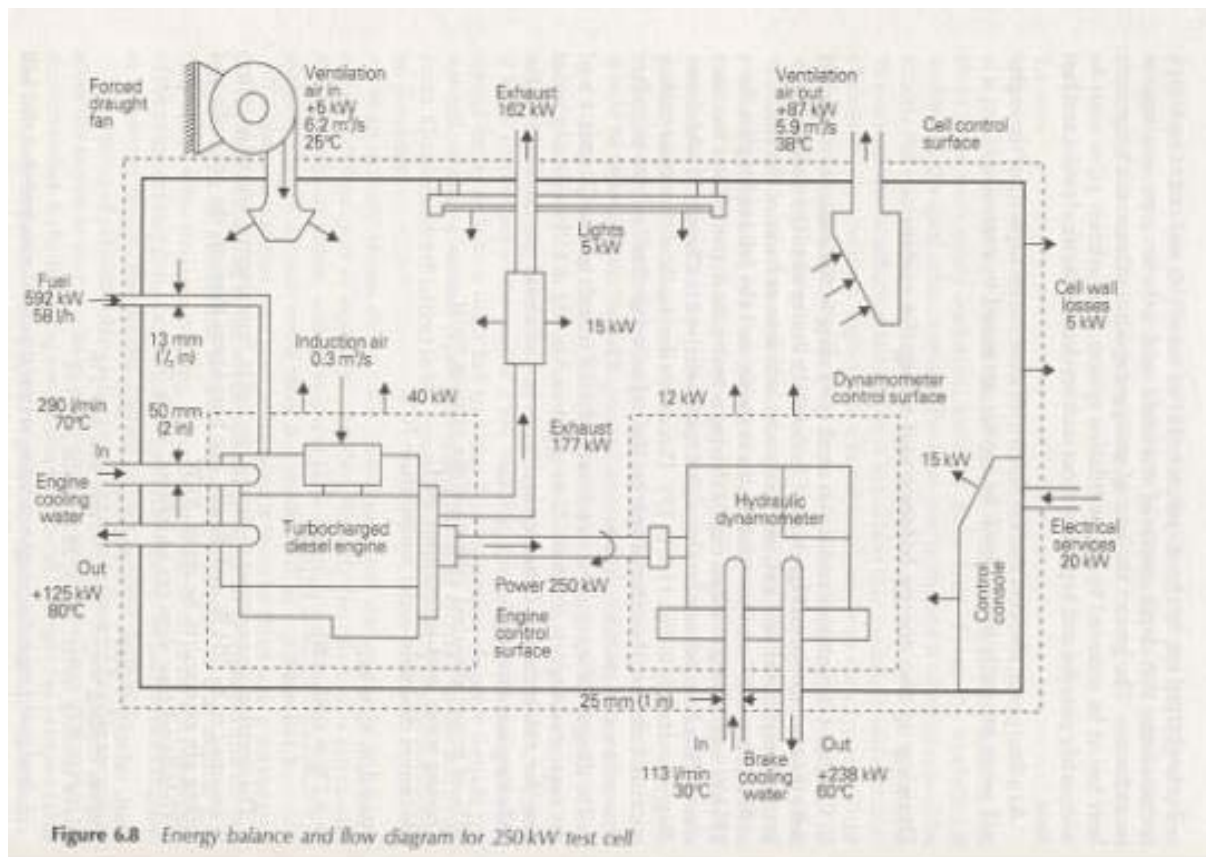


Kuva 50. Esimerkki 2 moottorin testisolu ratkaisusta /1/

Seuraavissa kuvissa on esitetty muutamia suunnitteluteknisiä toteutuksia ja kriteereitä suunnitteluvaiheessa huomioitavissa. Järjestelmästä saadaan esimerkiksi merkittävä määrä

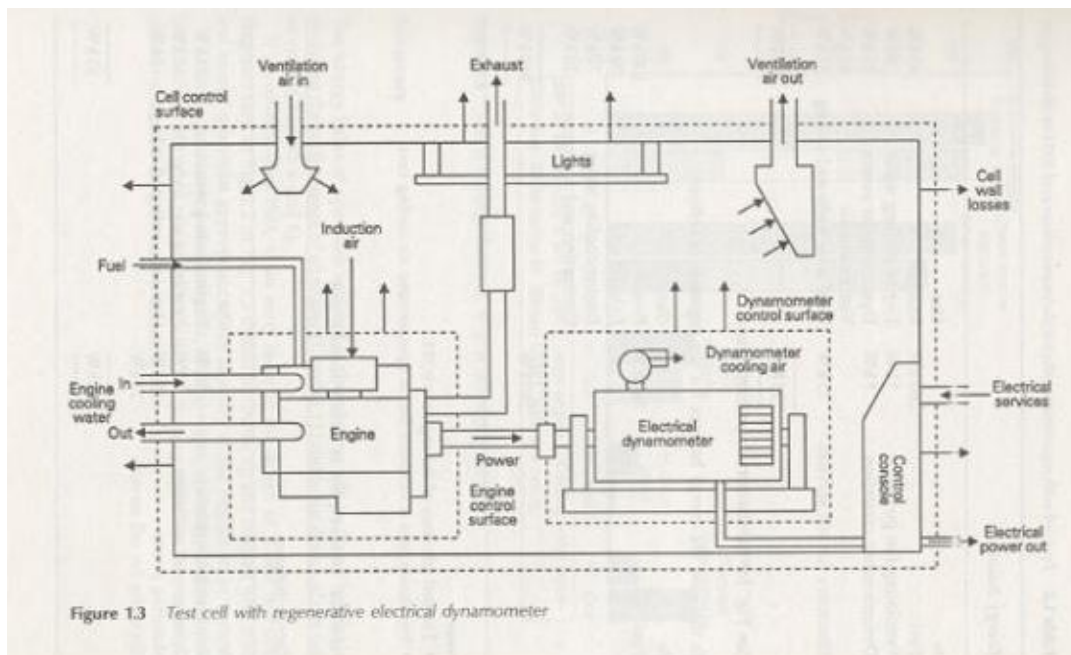
hukkaenergiaa talteen. Siksi sen hyödyntämisellä järjestelmän käyttökustannuksia saataisiin alemmaksi. Laitteiston käyttäminen voisi olla riittävällä jatkokehityksellä jopa tuottoisaa.

Kuvassa on esitetty 250 kW ulostulotehoille mitoitettun testisolun rakenneratkaisuita ja virtausmääriä.



Kuva 51. Energiatase- ja virtauskaavioesitys 250 kW:n testisolulle /1/

Kuvassa on esitetty testisoluratkaisu, jossa käytetään moottorin tuottaman energian talteenottoa, eli periaatteessa tehonmittauksesta saatava energia voitaisiin käyttää esimerkiksi sähkön tuottamiseen tai veden lämmitykseen.



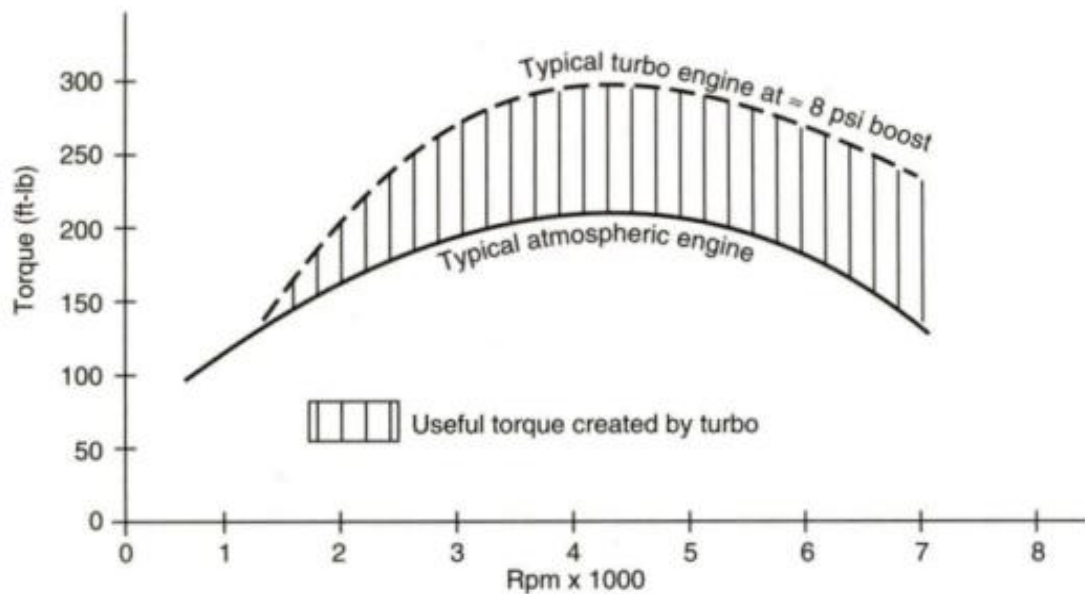
Kuva 52. Testisolu hukkaenergian talteenotolla /1/

6.2 MOOTTORIIN LIITTYVÄT TOIMENPITEET

6.2.1 Moottorin turboahtaminen

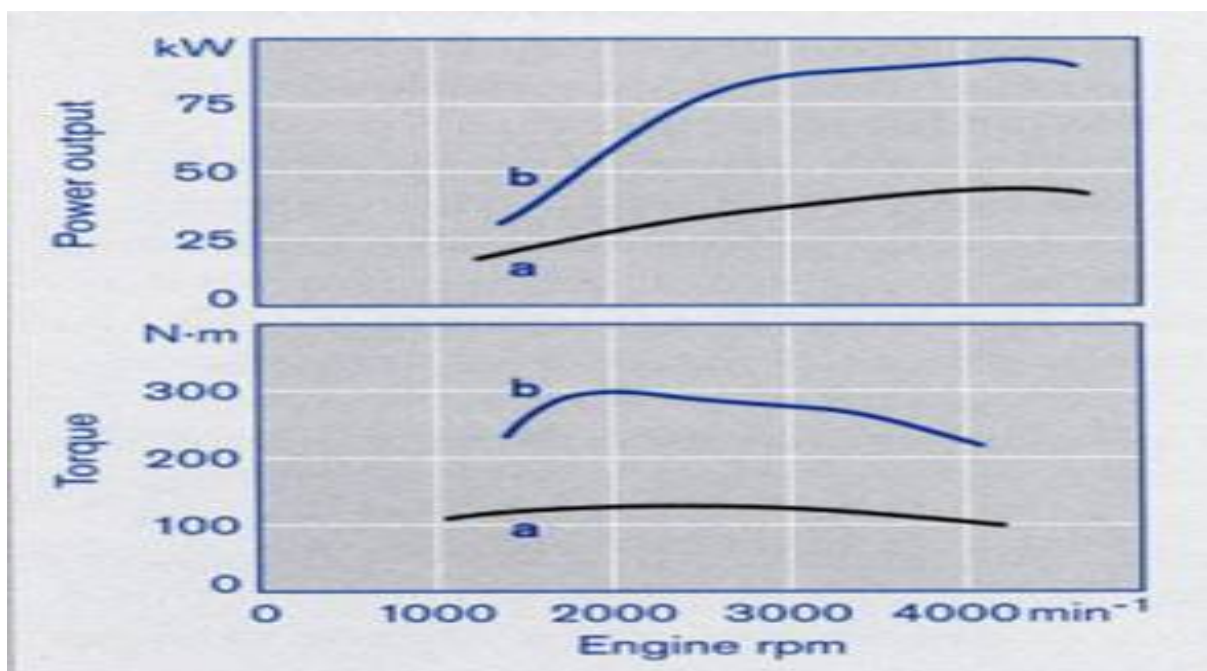
Koska nykyaikana polttomoottorit alkavat olla henkilöautoissa useimmiten ahdettuja, olisi järjestelmässä käytettävän moottorin hyvä olla turboahdettu. Diesel-käyttöisissä moottoreissa ahtamattomien moottorien valmistus on vähentynyt merkittävästi ja lähes kaikki henkilöautojen Diesel-moottorit on varustettu nykyisin turboahtimella. Myös Otto-moottoreiden yhteydessä on nykyisin ruvettu suosimaan menetelmää, jossa auto varustetaan ison vapaasti hengittävän polttomoottorin sijaan pienellä turboahdetulla moottorilla, josta kuitenkin saadaan sama vääntömomentti ja huipputeho kuin isoa vapaasti hengittävää moottoria käyttäen. Näin polttoaineen kulutus saadaan pienemmäksi ja autolla on sama suorituskyky kuin aiemmin. Autolehdistä käytetään tässä yhteydessä usein termiä downsizing kuvaamaan tätä toimintamallia.

Seuraavassa kuvassa on esitetty turboahtimen mahdollistama moottorin vääntömomentin lisäys verrattaessa sitä moottoriin ilman turboahdinta.



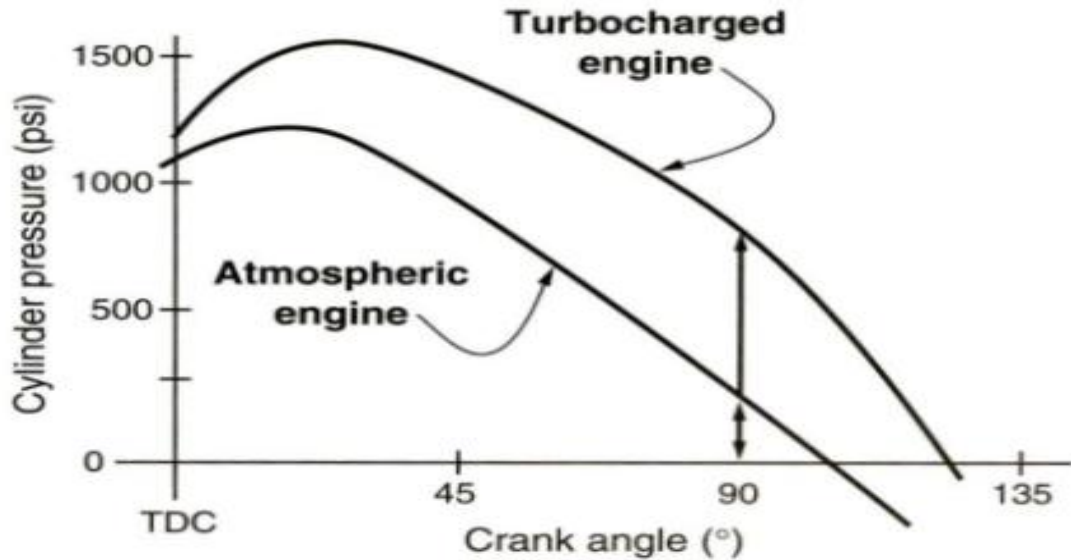
Kuva 53. Esimerkki turboahtimen vaikutuksesta moottorin tuottamaan vääntömomenttiin. /8/

Seuraavassa kuvassa on esitetty kahden muuten samanlaisen moottorin teho- ja vääntömomenttikuvaajat, sillä erolla että toinen moottoreista on varustettu turboahtimella ja toisessa sitä ei ole.



Kuva 54. Kahden samanlaisen moottorin vääntömomentti – ja tehokuvaajat ahtamattomana ja turboahdettuna. /4/

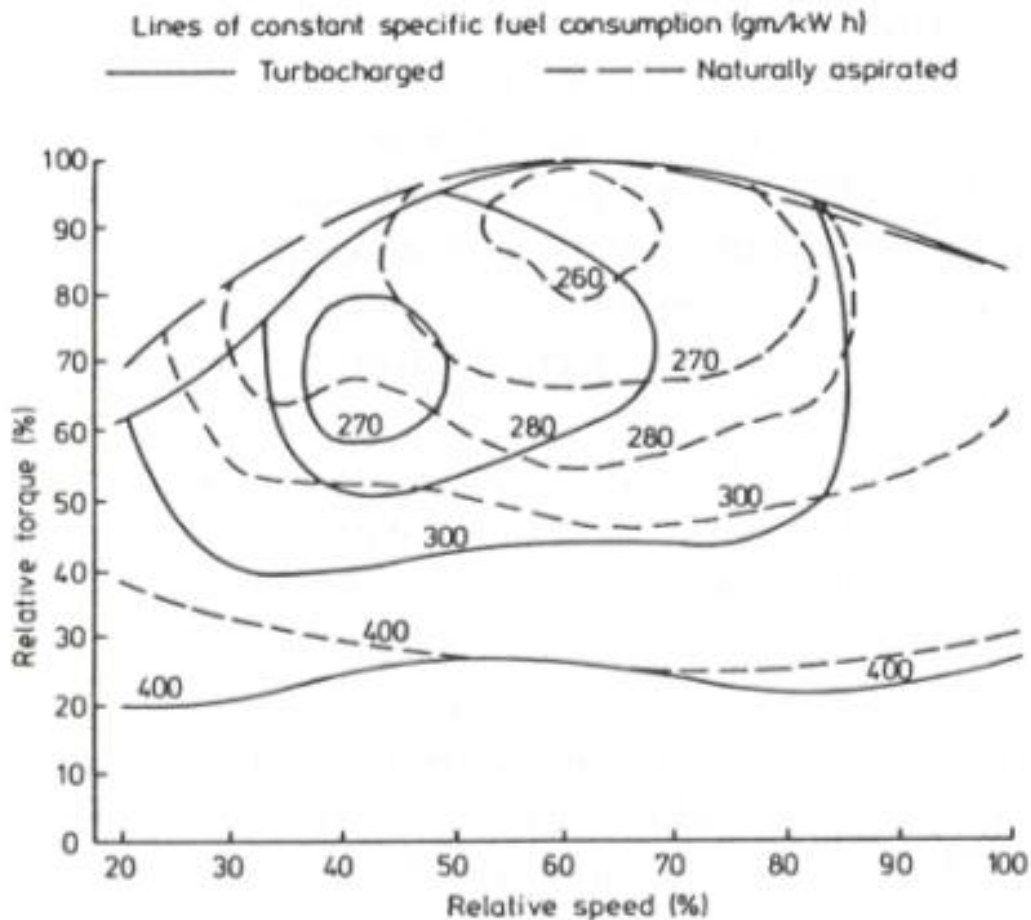
Seuraavassa kuvassa on esitettyä kuinka sylinteripaine kasvaa moottorin kampiakselin kammenkulman funktiona varustettaessa moottori turboahtimella.



Kuva 55. Turboahtamisen vaikutus sylinteripaineeseen. /8/

Moottorin ahtamista puoltaa myös se seikka, että ahdettujen moottoreiden ohjausparametrien arvojen ja säätökarttojen muutosten vaikutukset ovat huomattavasti helpommin havaittavissa mittaustuloksissa, koska teho- ja vääntömomentin muutokset ovat suurempia.

Moottorin turboahtaminen vaikuttaa myös polttoaineen ominaiskulutukseen. Tätä ilmiötä on tarkasteltu seuraavassa kuvassa. Kuvaajassa on pystyakselilla esitetty moottorin tuottama vääntömomentti prosentteina ja vaaka-akselilla on moottorin pyörimisnopeus prosentteina. Lukemat diagrammissa ovat polttoaineen kulutuksen arvoja ilmoitettuna muodossa grammaa kilowattituntia kohden. Kuvaajassa katkoviivalla esitetty diagrammi on ilman turboahdinta varustetusta moottorista. Yhtenäisellä viivalla esitetty diagrammi kuvaa turboahdettua moottoria, joka on muuten samanlainen.

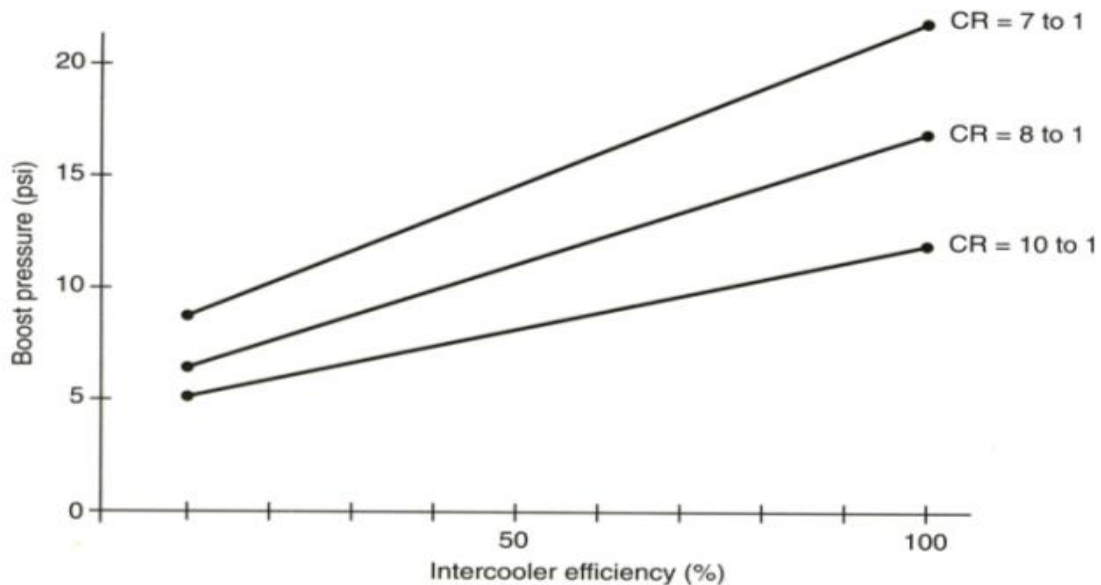


Kuva 56. Turboahtamisen vaikutus moottorin ominaiskulutukseen. /3/

Polttoaineen ominaiskulutusdiagrammista voidaan tulkita, että polttoaineen ominaiskulutus kasvaa noin 10 g/kWh, mutta moottoria voidaan käyttää alhaisemmilla pyörimisnopeuksilla hyvän hyötysuhteen alueella ja hyötysuhde pysyy hyvänä laajemmalla vääntömomenttialueella kuin turboahtamattomassa moottorissa. Tällä tavoin välityssuhteiden valitseminen auton vaihteistoon on helpompaa, koska vaihdevälien porrastuksen ei tarvitse olla niin tiuha moottorin pitämiseksi hyvän hyötysuhteen alueella vaihteen vaihdon yhteydessä.

Varustettaessa moottoria turboahtimella, on huomioitava tiettyjä seikkoja, jotta varmistetaan että moottori toimii tarkoituksenmukaisesti ja kestää käyttöä jatkossakin. Edellä mainittuihin ominaisuuksiin vaikuttavat eniten moottorin puristussuhde ja käytettävä ahtopaine. Lisäksi puristettaessa ilmaa turboahtimella moottoriin, kasvaa imuilman lämpötila merkittävästi pienentäen sen tiheyttä. Tästä syystä ahtoilman jäähdyttimellä ja sen hyötysuhteella on myös merkittävä vaikutus kokonaisuuteen. Seuraavassa kuvassa on esitetty, kuinka nämä kolme

tekijää ovat sidoksissa toisiinsa. Kuvaajassa pystyakselilla on esitetty käytettävä ahtopaine ja vaaka-akselilla on esitetty välilämpöimurin hyötysuhde, eli kyky alentaa moottorin imuilman lämpötilaa.



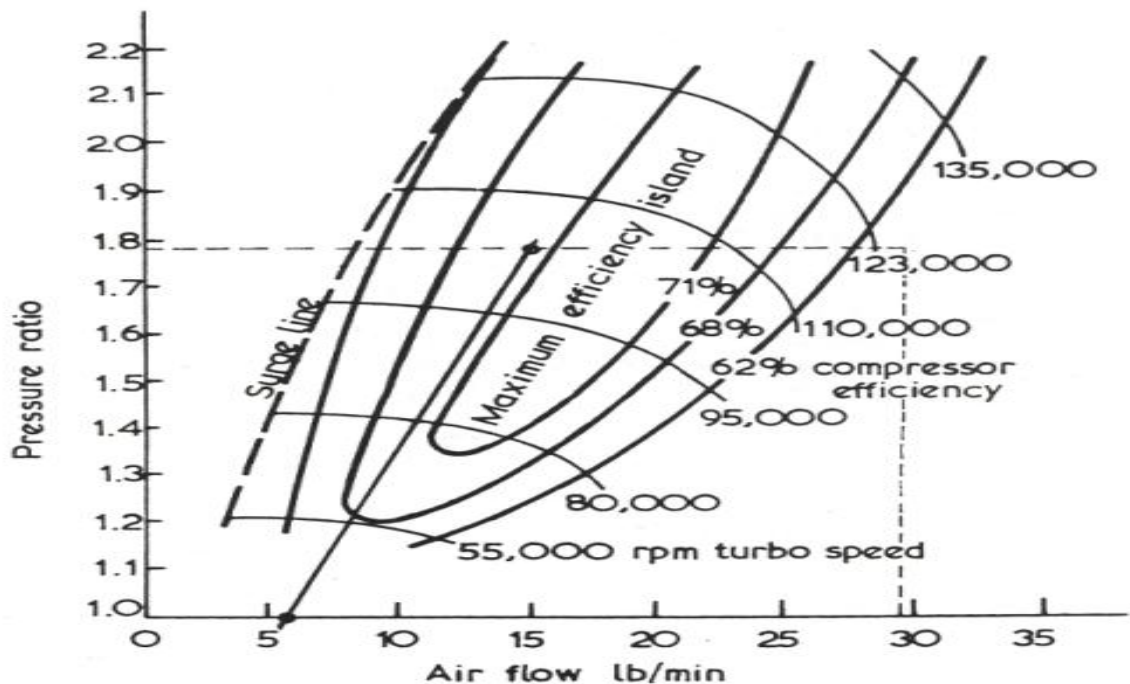
Kuva 57. Moottorin puristussuhteen ja välilämpöimurin hyötysuhteen vaikutus suurimman suositeltavan ahtopaineen suuruuteen. /8/

Kuvaajasta voidaan todeta, että moottorissa voidaan käyttää suurempaa ahtopainetta käytettäessä pienempää puristussuhdetta ja tehokkaampaa välilämpöimintä. Vastaavasti puristussuhteen kohottaminen ja heikompitehoisen välilämpöimurin käyttö johtaa siihen, että on käytettävä alhaisempaa ahtopainetta, mikäli kokonaisuuden halutaan toimivan tarkoituksenmukaisesti.

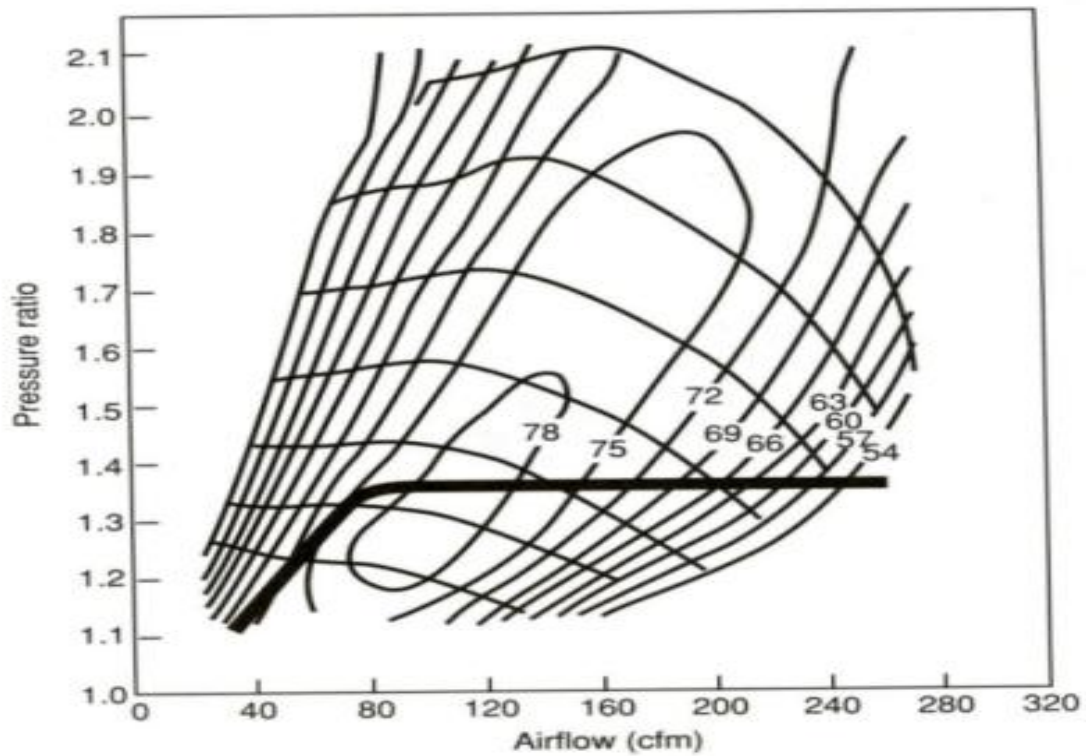
Turboahtimia valittaessa käytetään yleisesti niiden kompressorien ja turbiinien hyötysuhdekuvaajia eli ns. turbokarttoja. Kuvaajissa pystyakselilla on esitetty painesuhde ulkoilmanpaineeseen nähden, joka tarkoittaa sitä, että ilmanpainetta verrataan keskenään ennen ja jälkeen kompressorin. Tämä tarkoittaa sitä, että käytettävä ahtopaine ja ulkoilmanpaine lasketaan yhteen ja summa jaetaan ulkoilman paineella. Esimerkiksi painesuhde 1,8 tarkoittaa sitä, että moottorissa käytettäisiin 0,8 bar ahtopainetta ja lisäämällä se ulkoilmanpaineeseen, mikä yleisesti on noin 1 bar, saadaan tulokseksi 1,8 bar ja jaettuna tämä ulkoilman paineella 1 bar, saadaan painesuhdeksi 1,8.

Vaaka-akselilla kuvaajassa on ahtimen tuottama ilman tilavuusvirta. Kuvaajaan on piirrettynä samantapaisia diagrammeja, kuin polttoaineen ominaiskulutusdiagrammin yhteydessä ja ne kuvaavat kompressorin hyötysuhdetta prosentteina. Moottorin suunnitteluvaiheessa ja turboahtimen kompressorin valittaessa, selvitetään haluttu ahtopaine, sekä selvitetään moottorin käyttämä ilmamäärä eri pyörimisnopeus- ja vääntömomenttialueilla, ja näiden tietojen perusteella piirretään kuvaajaan viiva, pyrkimyksenä löytää kompressorin, joka toimii mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella moottorin käyttöalueella.

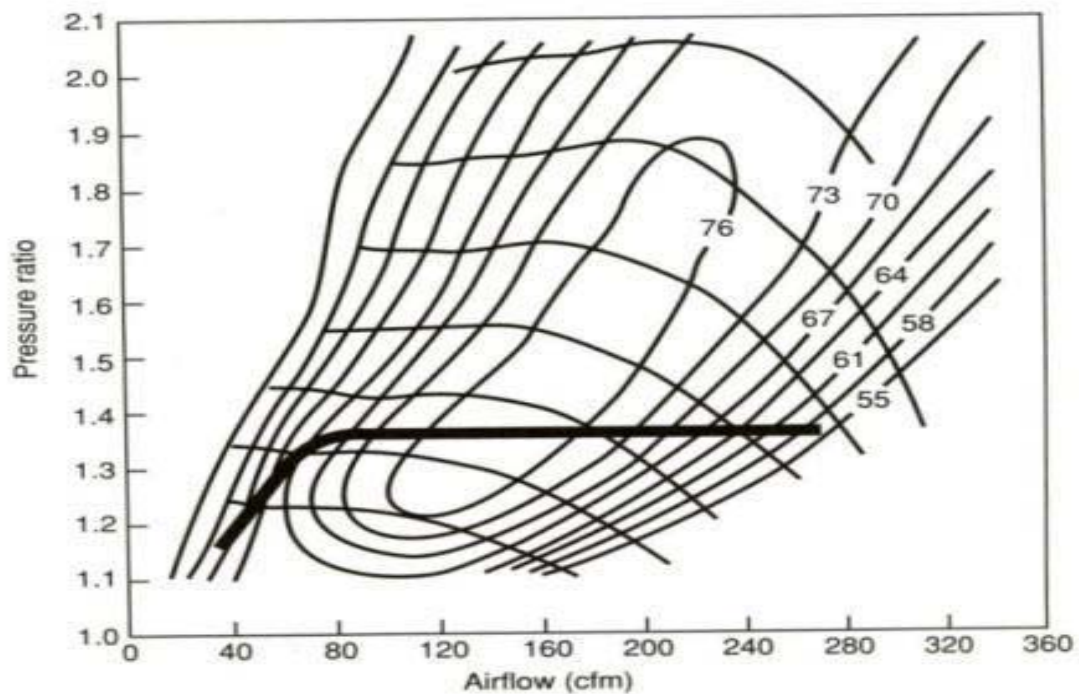
Seuraavissa kuvissa on esitetty turboahtimien kompressorien valinnassa käytettäviä kompressorikarttoja.



Kuva 58. Esimerkki turboahtimen kompressorin valinnassa käytettävästä turbokartasta. /9/



Kuva 59. Esimerkki 1. turboahtimen kompressorin valintakuvaajasta turbokartalla. /8/



Kuva 60. Esimerkki 1. turboahtimen kompressorin valintakuvaajasta turbokartalla. /8/

Turboahтамisen haittapuolina voidaan mainita moottorin lisääntyneet rasitukset ja kasvanut lämmöntuotto. Lisäksi varomattomalla säätötyöllä moottori vaurioituu herkemmin, mistä syystä moottorinohjausjärjestelmään olisi syytä lisätä valvontaa esimerkiksi nakutuksen tunnistavalla anturilla, mikäli päädytään turboahtimen asennukseen.

6.2.2 Säädettyvä nokka-akselin ajoitus

Moottorin mekaniikkapuolelle tehtävistä muutoksista yksi moottorin käyttöominaisuuksiin huomattavasti vaikuttavista ja helpoimmin toteutettavista keinoista on nokka-akselin ajoituksen muuttaminen. Tällä tarkoitetaan sitä, että nokka-akselin ajoitusta muutetaan säädettyvän nokka-akselin käyttöpyörän avulla siten, että nokka-akselin nokan liikkeen aiheuttama venttiilin aukeaminen tapahtuu aikaisemmin tai myöhemmin kuin alun perin on suunniteltu. Aikaistamalla nokka-akselin ajoitusta, saadaan vääntömomentin maksimiarvo alhaisemmilla kierroksilla ja vastaavasti myöhäistämällä sitä siirtyy vääntömomentin maksimiarvo korkeammille kierroksille.

Autolaboratorion dynamometrin yhteyteen valittu tutkimusmoottori on rakenteeltaan nokka-akselin ajoituksen muutoksien vaikutuksien perustutkimuksiin hyvä. Nokka-akselin käyttöpyörä täytyy vaihtaa sellaiseen, johon ajoituksen säätömahdollisuus on tehty. Tällaisia pyöriä myydään 50-150 € hintaan erilaisissa moottoreiden viritysoosiin erikoistuneissa liikkeissä. Lisäksi moottorin hammashihnan suojakotelo täytyy muuttaa, mikäli halutaan välttyä purkamasta sitä jokaisella kerralla ajoitusta muutettaessa.

6.2.3 Vaihtoehtoiset moottorit

Koska nykyaikaiset autot ovat entistä enemmän varustettuja Dieselkäyttöisillä moottoreilla, olisi syytä harkita järjestelmän moottorin vaihtoa Dieselkäyttöiseksi, jotta opetuskalusto vastaisi työelämän tarpeita mahdollisimman hyvin.

Tällä hetkellä Tatech-moottorinohjausjärjestelmän ohjelmiston ominaisuudet eivät vielä riitä Dieselmoottorin ohjaukseen, joten tämä seikka olisi hoidettava ensin. Ilmeisesti myös dynamometrilaitteistossa käytössä olevan moottorinohjausjärjestelmän valmistajan, Tatechin intresseihin kuuluu Dieselkäyttöön soveltuvan moottorinohjausjärjestelmän valmistus, joten seikka lienee pikemminkin ajan kuin tekijöiden puutteesta riippuva.

Tarkoitukseen soveltuva moottori olisi laboratoriossa valmiina käyttöön jo nyt. Mikäli saataisiin projektin läpivientiin halukkaat henkilöt mukaan, olisi työ luultavasti mahdollista toteuttaa melko nopealla aikataululla ja kohtuullisen suuruisella budjetilla. Lisäksi tässä olisi myös mahdollisuus opinnäytetyön aiheeksi kolmannen tai neljännen vuoden opiskelijoille.



Kuva 61. Common rail-ruiskutusjärjestelmällä varustettu Diesel-moottori



Kuva 62. Common rail-ruiskutusjärjestelmällä varustettu Diesel-moottori

7 YHTEENVETO

Yhteenvetona voidaan todeta, että tavoitteena olleiden työtehtävien suorittamisessa onnistuttiin. Dynamometrilaitteistoa voidaan käyttää opetustarkoituksessa lukuvuodesta 2009–2010 eteenpäin. Työtä suorittaessa dynamometrilaitteistoa saatiin kehitettyä lähtötilanteesta paremmin opetustarkoitusta vastaavaksi, sekä laitteiston ylläpitoa varten saatiin kehitettyä ohjeistus. Työtä suoritettaessa kohdattiin monia ongelmatilanteita, mutta ne saatiin selvitettyä ja tämä luo hyvän pohjan mahdollisten ongelmatilanteiden ratkaisemiseen myös jatkossa.

Laitteiston turvallisuusriskit saatiin kartoitettua sekä niiden aiheuttamien vaarojen uhat saatiin sille tasolle, että laitteistoa voidaan käyttää turvallisesti.

Myös laboratoriossa suoritettavien moottoritekniikan laboratoriotöiden ohjeistus saatiin tehtyä, sekä niiden käyttökelpoisuus pystyttiin testaamaan myös käytännössä.

Työn aikana saatiin myös kartoitettua mihin suuntaan laitteistoa olisi jatkossa mahdollista parantaa, sekä millaisia mahdollisuuksia se tarjoaa ajatellen yhteistyötä suomalaisten teollisuusyrityksien kanssa. Laitteisto mahdollistaa jatkossa myös muiden opinnäytetöiden tekemisen, ja näin ollen sen asema osana Tampereen ammattikorkeakoulun autolaboratorion opetuskalustoa on vakiintunut.

Työtä suoritettaessa törmättiin myös vastoinkäymisiin ja nämä pitkittivät dynamometrilaitteiston päivittämisen aloitusta merkittävästi

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

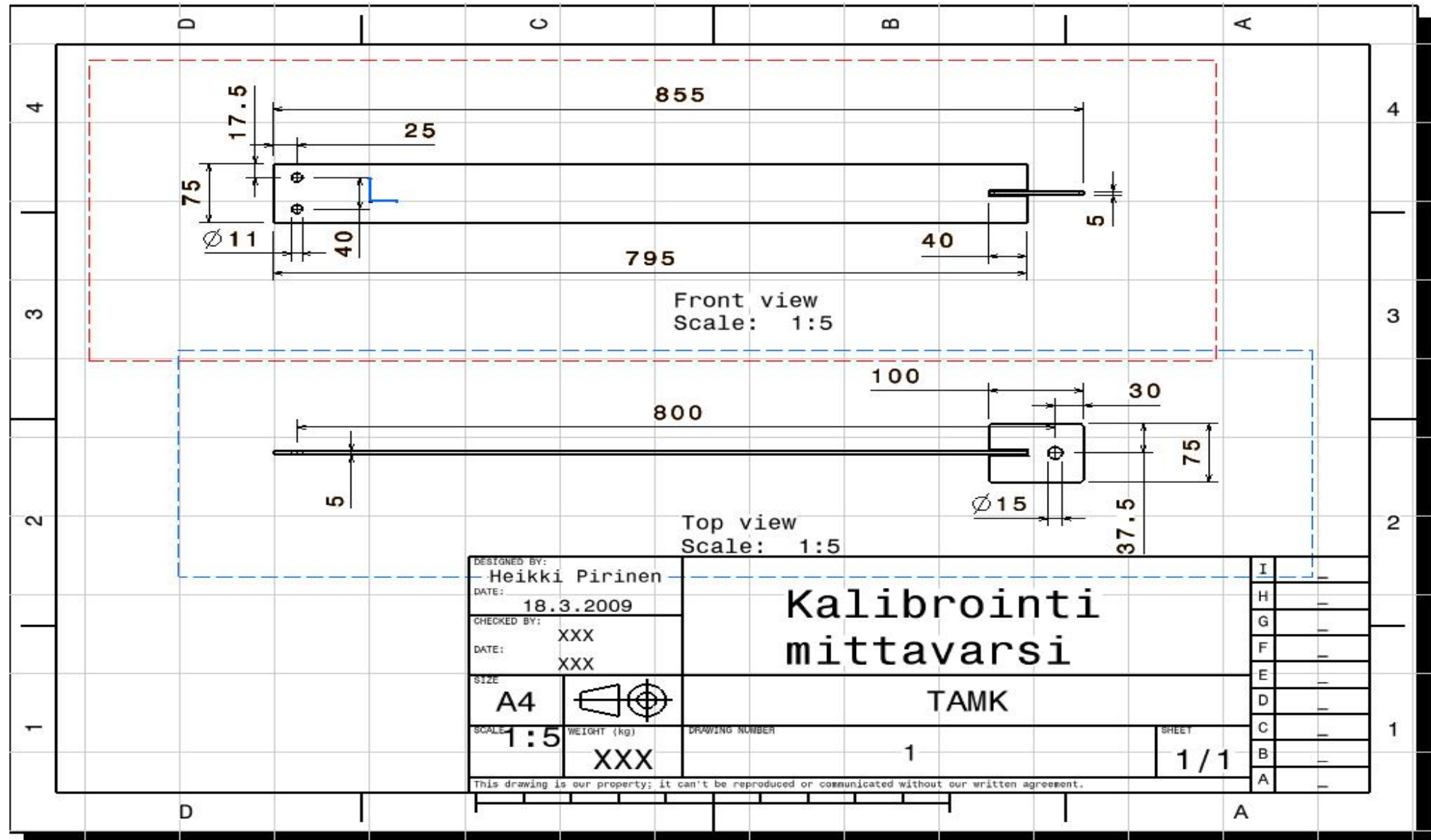
- [1] Plint, Michael – Martyr, Anthony, Engine Testing. Theory and Practice, Oxford: Butterworth-Heinemann, 1996.
- [2] Robert Bosch GmbH, Autoteknillinen taskukirja, 6. painos, Autoalan koulutuskeskus Oy, Gummerus Oy, Jyväskylä, 2003.
- [3] Stone, Richard, Introduction to Internal Combustion Engine, 3. Edition, Hampshire, MacMillan Press LTD, 1999.
- [4] Robert Bosch GmbH, Diesel-Engine Management. 4. Edition, West Sussex, John Wiley & Sons Ltd, 2005.
- [5] Siirilä, Tapio – Pahkala, Jorma, EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus, Fimtekno Oy, Helsinki, Otavan kirjapaino Oy, Keuruu, 1999.
- [6] Bell, A. Graham, Uusi moottoritekniikka. Virittäminen ja säätäminen, Suomenkielinen teksti Mauno, Esko, Teekkarien Autopalvelu Oy, Helsinki, Vammalan Kirjapaino Oy, 1998
- [7] Hammil, Des, How to Choose Camshafts & Time Them For Maximum Power, Veloce Publishing Ltd, Dorchester, England, 2006.
- [8] Bell, Corky, Maximum Boost, Designing, Testing and Installing Turbocharger Systems, Bentley Publishers, Cambridge, MA 02138, USA, 1997
- [9] Bell, A.Graham, Forced Induction. A Practical Guide To Turbocharging, Haynes publishing, Sparkford, Yeovil, Somerset, BA22 7JJ, UK, 2002

Painamattomat lähteet

- [10] www sivu, saatavilla <http://www.import-export-secrets.com/images/container.jpg> viitattu 2.12.2008

LIITTEET

1. Kalibrointimittavarren rakennepiirustus
2. Dynamometrilaitteiston huolto-ohje
3. Dynamometrilaitteiston käytöstä tehty riskimatriisi
4. Dynamometrilaitteiston turvallisuusohje
5. Työohje 1: Moottorinohjausjärjestelmän toiminnan tutkiminen moottoria kuormitettaessa
6. Työohje 2: Moottorin polttoaineen ominaiskulutuksen ja hyötysuhteen määrittäminen
7. Työohje 3: Moottorin pakokaasupäästöjen vähentäminen moottorinohjausjärjestelmän avulla



Moottorin huoltotoimenpiteet

- Laske vanha moottoriöljy pois.
- Vaihda öljynsuodatin uuteen. (kerran lukuvuodessa)
- Kaada uusi moottoriöljy moottoriin. (kerran lukuvuodessa)
- Tarkasta apulaite- ja nokka-akselin hammashihnan kunto ja uusi tarvittaessa (kerran lukuvuodessa)
- Tarkasta että katalysaattorin puhdistusteho ei ole laskenut liiaksi. Mittaa pakokaasuanalysaattorilla pakokaasupäästöjen arvot ennen ja jälkeen katalysaattoria, sekä vertaa niitä vähäpäästöisen auton raja-arvoihin ja varmista, että katalysaattorin jälkeinen arvo on alle näiden rajojen.
- Tarkasta ettei pakoputkistossa näy merkkejä vuotamisesta, eivätkä sen kannatin kumit ole rikki ja putkisto on tukevasti kiinni. Tarkasta myös, että pakoputkiston suojaverkot ovat asianmukaisesti kiinni.
- Tarkasta moottorin venttiilivälysten suuruus ja säädä se tarvittaessa oikeaksi (kerran lukuvuodessa)
- Vaihda sytytystulpat (kerran kahdessa lukuvuodessa)
- Vaihda ilmansuodatin (kerran kahdessa lukuvuodessa)

Laitteiston nesteiden vaihtaminen ja letkujen tarkastus

- Laske moottorin jäähdytysneste ja lämmönvaihtimissa kiertävä jäähdytysvesi pois. Tarkasta kuinka likaista jäähdytysvesi on ja puhdista järjestelmä tarkoitukseen soveltuvalla liuottimella mikäli se vaikuttaa aiheelliselta.
- Tarkasta dynamometrin sisään menevän veden suodattimen puhtaus.
- Tarkasta laitteiston vesiletkujen kunto ja kiristysklemmarien kiristystiukkuus.

Mekaanisten osien tarkastus

- Tarkasta ettei missään osissa näy murtumia, moottorin ja dynamometrin välisien kytkentäosien (kardaaniakseli, kumikytkimet) pultit ovat kiinni ja niitä ei puutu.
- Tarkasta ettei dynamometrin akselin laipassa tunnu välystä ja varmista ettei dynamometrin laakerit ole kuluneet väljiksi.

Dynamometrin huolto

- Tarkasta dynamometrin rasvakupeista että niissä on riittävästi rasvaa ja tarvittaessa lisää sitä.
- Tarkasta että dynamometrin kiinnityspultit ovat kiinni eivätkä ole auenneet tärinästä
- Suorita dynamometrin kalibrointi mittavartta ja painoja käyttäen

Sähköisten osien tarkastukset

- Tarkasta että kaikki johtimet ovat ehjät, ne ovat asianmukaisesti kiinnitetyt eikä niissä näy eristeaurioita
- Tarkasta että päävirta- ja hätäseis-katkaisimet toimivat oikein
- Tarkasta että kaikki sulakkeet ovat ehjät
- Tarkasta akun kunto ja varmista asianmukainen kiinnitys
- Tarkasta että akun kaapelikengät ovat kunnolla kiinni.

RISKIMATRIISI

Riskin kuvaus	Esiintyminen	Seuraus	Riskin luokitus
Kardaaniakselin irtoaminen	Epätodennäköinen	Akseli irtoaa ja osuu esteeseen tai henkilöön aiheuttaen vammoja, EH	Kohtalainen riski
Moottorin kiinnileikkaaminen	Epätodennäköinen	Moottorista voi irrota mekaanisia osia ja osua henkilöön, EH	Kohtalainen riski
Nokka-akselin hammashihnan katkeaminen	Epätodennäköinen	Moottorista voi irrota mekaanisia osia ja osua henkilöön, EH	Kohtalainen riski
Moottorin irtoaminen kiinnikkeistään	Epätodennäköinen	Letkujen hajoaminen, irtoavien osien osumisvaara, EH	Sietämätön riski
Jotain menee apulaitehihnan väliin	Todennäköinen	Hihna katkeaa ja osuu henkilöön, H	Kohtalainen riski
Jotain menee kardaaniakselin väliin	Todennäköinen	Suojukset hajoavat, osien osumisvaara EH	Sietämätön riski
Moottorin vesiletkujen irtoaminen	Epätodennäköinen	Kuumaa nestettä voi lentää käyttäjän päälle, palovammojen vaara, EH	Sietämätön riski
Dynamometrin jäähdytysvesiletkujen irtoaminen	Epätodennäköinen	Kuumaa nestettä voi lentää käyttäjän päälle, palovammojen vaara, EH	Sietämätön riski
Polttoaineletkujen ratkeaminen	Epätodennäköinen	Polttoainetta suihkuaa ympäriinsä, voi joutua silmään, aiheuttaa palovaaran, H	Kohtalainen riski
Polttoaineletkun liitinvario	Epätodennäköinen	Polttoainetta suihkuaa ympäriinsä, voi joutua silmään, aiheuttaa palovaaran, H	Kohtalainen riski
Polttoainehöyryjen aiheuttama tulipalo	Epätodennäköinen	Nopea räjähdysmäinen palo, vaaroja nopean etenemisen vuoksi, H	Kohtalainen riski
Pakoputkiston aiheuttamat palovaarat	Todennäköinen	Opiskelija saa eriasteisia palovammoja kosketuksesta riippuen, H	Kohtalainen riski
Akun oikosulku ja räjähdys	Epätodennäköinen	Akkuhappoa lentää ympäriinsä ja osuu ihmisiin ja esteisiin, EH	Kohtalainen riski
Sytytysjännite, 10-30 kV	Epätodennäköinen	Aiheuttaa vakavia vammoja johtuessaan kehon läpi. EH	Sietämätön riski
Käynnistysmoottorin virta, 50-200 A	Epätodennäköinen	Oikosulun tapahtuessa palovaarat, kehon läpi johtuessa tappava vaikutus, EH	Sietämätön riski
Hyvin epätodennäköinen Epätodennäköinen Todennäköinen	Lievästi haitallinen	Haitallinen	Erittäin haitallinen
	LH	H	EH

LIITE 4

JOTTA DYNAMOMETRILAITTEISTON KÄYTTÖ OLISI TURVALLISTA, SUORITA SEURAAVAT TARKASTUKSET ENNEN KÄYTTÖÄ!

1. Tarkasta, ettei missään nesteletkuissa näy ratkeamia ja että liittimet ovat asianmukaisesti kiristetty.
2. Tarkasta polttoaineletkujen kunto ja tiiviys.
3. Tarkasta, ettei päävirtakaapeleissa näy eristerikkoja ja niiden liittimet ovat kunnolla kiinni.
4. Tarkasta, ettei missään näy jälkiä polttoaine- tai nestevuodoista. Jos näet sellaisia, ota yhteyttä opettajaan.
5. Tarkasta, ettei moottorin kiinnitysosissa (raudat ja kumityyny) näy murtumia ja niiden pultit ovat kiinni.
6. Tarkasta että moottorin ja dynamometrin väliset kytkentäosat (kumikytkimet ja akseli) ovat kunnolla kiinni, eli niiden pultit eivät ole löysällä eikä niitä puutu.
7. Tarkasta ettei pakoputken tai muiden kuumien pintojen läheisyydessä ole mitään helposti syttyvää (paperia tms. materiaalia)
8. Käytä pakokaasuimurin yhteydessä aina ohuesta pellistä tehtyä väliputkea, älä kiinnitä letkua suoraan pakoputkeen, letkun sulamisvaara!
9. Tarkasta että moottorissa on öljyä ja että paisuntasäiliössä on jäähdytysnestettä.
10. Varmista että laboratoriossa on paikalla joku, joka hallitsee ensiavun perusteet!
11. Selvitä missä lähimmät palosammuttimet ovat ja varmista että ne ovat toimintakuntoiset.
12. Varmista, ettei kukaan mene dynamometrin ympärille käytön aikana, pl. jarrun ja moottorinohjauslaitteet.
13. Tarkasta että järjestelmän vesikierto on kytkettynä siten, että veden tuloletku on kytketty vesihanaan ja paluuletku viemäriin. Avaa myös tuloveden hana.
14. Varmista että polttoainetankissa on riittävä määrä polttoainetta ja säiliön ollessa tyhjä, täytä se. Pyri välttämään tilannetta, jossa joutuisit tankkaamaan polttoainetta työsuorituksen aikana.
15. Kytke päävirta päälle ja käynnistä moottori.

KÄYTÖN AIKANA SUORITETTAVA TARKKAILU!

1. Jos joku letku alkaa vuotaa, sammuta laitteisto.
2. Jos moottorista alkaa kuulua mielestäsi epämääräisiä ääniä, nollaa kuormitus ja sammuta moottori. Käytä päävirtakatkaisinta.
3. Jos moottorin kierrokset uhkaavat nousta hallitsemattomasti, nollaa kuormitus ja sammuta moottori. Käytä päävirtakatkaisinta.
4. Jos jostain alkaa nousta savua, nollaa kuormitus ja sammuta moottori. Käytä päävirtakatkaisinta.
5. Jos joku uhkaa mennä laitteiston vaara-alueelle, nollaa kuormitus ja sammuta moottori. Käytä päävirtakatkaisinta.

KÄYTÖN JÄLKEEN TAPAHTUVA TARKKAILU!

1. Nollaa kuormitus, aja moottori tyhjäkäynnille ja anna sen jäähtyä siten että jäähdytysnesteen lämpötila on laskenut noin 80 °C -asteeseen
2. Kun olet lopettanut dynamometrilaitteistolla työskentelyn, niin tarkasta ettei kukaan jätä mitään helposti syttyvää laitteiston lähelle
3. Sulje vesikierron tuloveden hana
4. Sammuta päävirta!
5. Irrota oheislaitteet dynamometrilaitteistosta (kannettava tietokone jne.)

**01 .MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄN
TOIMINNAN TUTKIMINEN MOOTTORIA
KUORMITETTAESSA**

1. TEHTÄVÄ

Työn tarkoituksena on perehtyä moottoritehdynamometrin käyttöön, sekä tutkia eri moottorinohjausparametrien vaikutusta moottorin ominaisuuksiin ja käyttöön.

Työn suoritettuaan opiskelija hallitsee moottoritehdynamometrin käytön keskeisimmät seikat ja toimintaperiaatteet. Opiskelija ymmärtää myös, kuinka moottorinohjausjärjestelmän ohjausparametrit muuttuvat moottorin kuormitusasteen muuttuessa.

Työn suoritettuaan opiskelija kykenee toimimaan dynamometrilaitteistolla itsenäisesti ja suorittaa moottoritestauksen perustavaiheita. Työsuorituksen jälkeen hänellä on edellytykset toimia esimerkiksi moottoreiden koekäyttäjän tehtävissä moottoritehtaissa. Hän myös ymmärtää, kuinka moottorinohjausjärjestelmää voidaan diagnosoida vikatapauksissa moottorin kuormitusta muuttamalla.

2. ALKUVALMISTELUT

1. Suorita tarkastukset turvallisuusohjeen mukaisesti.
2. Kytke laitteiston päävirtakaapeli sille tarkoitettuun voimavirtapistokeeseen. Pistokkeen yläpuolella on merkintä ”Moottoritehdynamometrin testauspistorasia”



3. Virtajohdon kytkemisen yhteydessä ohjausyksikkö käynnistyy automaattisesti. Odota kunnes se on käyttövalmis.
4. Kytke virta päälle virtalähteestä. Katkaisin on esitetty seuraavalla sivulla samassa kuvassa, jossa vesipumpun katkaisin on. Katkaisin on keltapunainen katkaisin kuvan oikeassa alakulmassa ja se sijaitsee virtalähteen sivulla.
5. Kytke laitteiston vesikierron tuloletku vesihanaan ja paluuletku viemäriin. Avaa vesihana.



6. Käynnistä kiertovesipumppu. Vesipumpun katkaisin on esitetty seuraavassa kuvassa. Katkaisin on valkeassa rasiassa dynamometrin jäähdytysveden lämpömittarin alapuolella. Mustasta painikkeesta pumppu lähtee päälle ja sammuu punaisesta painikkeesta.



7. Laita pakokaasuimurin letku paikoilleen ja käynnistä imuri. KÄYTETTÄVÄ EHDOTTOMASTI METALLISTA VÄLIKARTIOTA IMURIN LETKUN JA PAKOPUTKEN VÄLILLÄ! Välikartio on esitetty seuraavassa kuvassa:



8. Avaa kannettavasta tietokoneesta TATECH for WIN v. 6.011 ohjelma, sekä kytke sarjakaapeli tietokoneen sarjaportin ja moottorinohjainlaitteen diagnoosipistokkeen välille.
9. Kytke sytytysvirta päälle edellisessä kuvassa esitetystä Ignition-katkaisimesta.
10. Näyttöön ilmestyy nyt ilmoitus "lataa arvot ecu:sta". Paina hiiren kursorilla ok-painiketta, jolloin ohjelma lataa moottorinohjausparametrien arvokartan koneelle.
11. Tietokoneen näytön tulisi näyttää samalta kuin seuraavassa kuvassa on esitetty.



12. Kuittaa fault-tila dynamometrin ohjausyksikön vihreästä painikkeesta.
13. Käynnistä moottori Start engine-painikkeesta.
14. säädä ohjainyksikön alemmalla potentiometrillä kaasuläpän aukeamaksi (TP) n. 20 % ja kytke ohjausyksikön run-ohjausmuoto päälle. Moottorin pyörimisnopeuden pitäisi nyt kohota 2000-3000 rpm:ään.
15. Aseta dynamometrin pyörimisnopeuspyynniksi (dyn) 1500-2000 rpm ohjausyksikön ylemmällä potentiometrillä.
16. Kytke dynamometrin speed-ohjausmuoto päälle. Tarkasta että dynamometrin ohjausyksikön valintapainikkeet on aktivoitu kuvan mukaisesti.

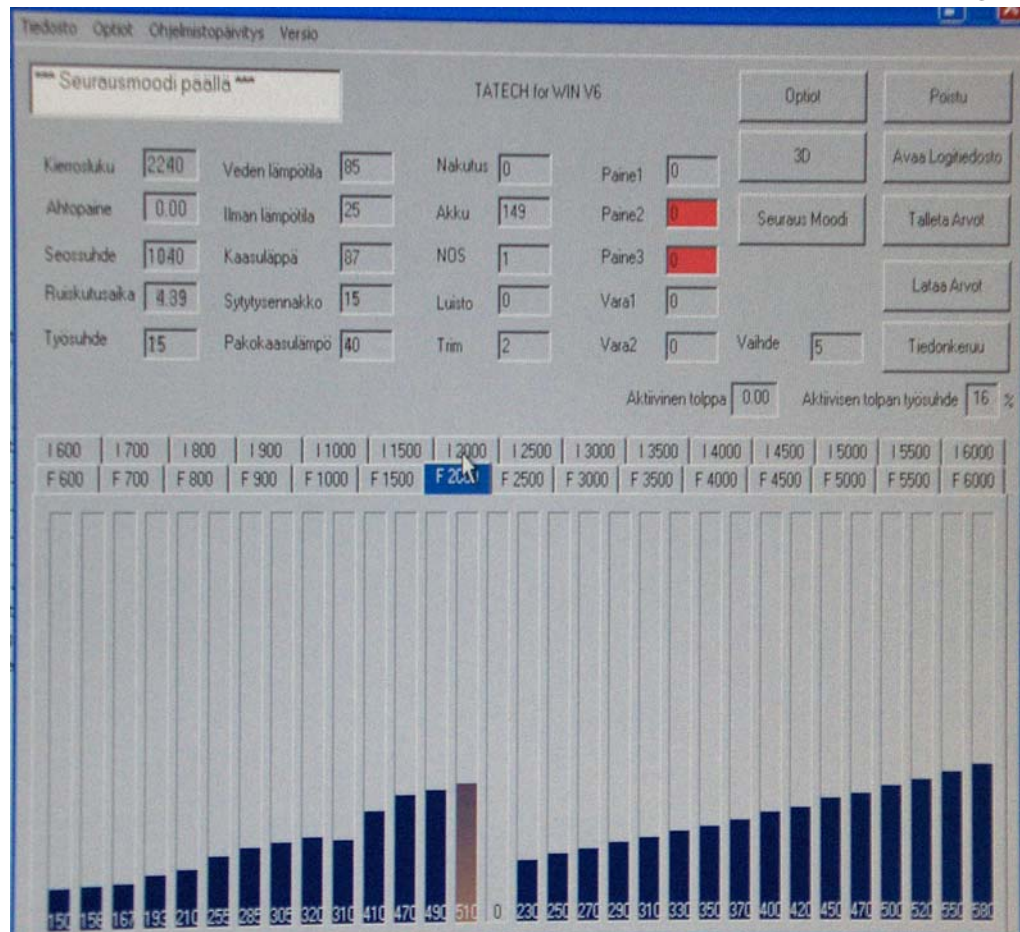


17. Odota kunnes moottorin jäähdytysnesteen lämpötila on noussut ja tasautunut 85°C:een
18. Kytke myös edellisessä kuvassa esitetty pakokaasujen lämpömittari päälle vihreästä on/off-painikkeesta. Kiertokytkimellä voit vaihtaa mitattavaa kanavaa. Kanava 1 on pakokaasujen lämpötila ennen katalysaattoria, kanava 2 katalysaattorin jälkeen ja kanava 3 on pakokaasujen lämpötila äänenvaimentimien välillä.

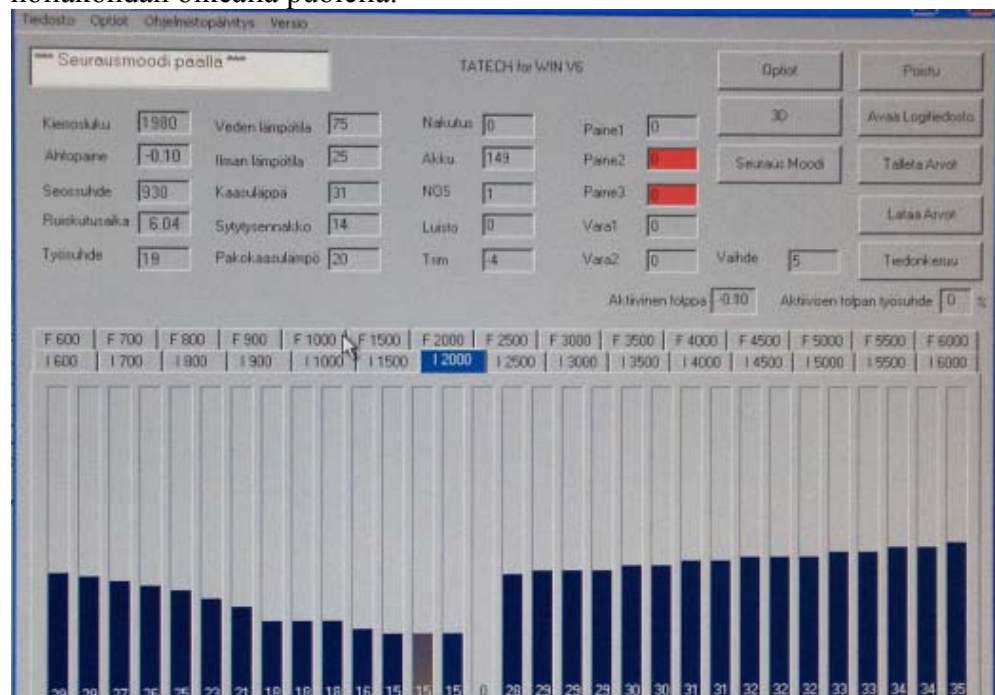
3. MITTAUKSET

Mittauksia suoritettaessa on ehdottoman tärkeää huomioida seuraavat rajoitukset:

- Käyntinopeus ei ylitä annettua 6000 rpm rajaa (moottorin ja dynamometrin välisten kytkentäosien hajoamisvaara)
- Moottoria säädettäessä vältetään suihkutusaajan ja sytytysennakon säätämistä sellaiseksi, että moottorissa esiintyisi nakutusta. (ilma-seossuhde tatech-ohjelman ilmoittamana suurempi kuin 1,2)
- Suihkutusaikaa saadaan säädettyä F-välilehdillä ylös-nuolella suuremmaksi ja alaspäin nuolella pienemmäksi. Arvo 100 ilmaisee suihkutusaajan olevan 1 ms.
- Esimerkiksi F1500-välilehdellä saadaan säädettyä suihkutusaikaa 1500 rpm pyörimisnopeusalueella.
- Painamalla näppäimistöä painiketta T, nähdään säätöarvo, jota moottorinohjaus käyttää kyseisellä hetkellä.
- Jotta arvoja päästään säätämään halutulla pyörimisnopeusalueella, tarvitsee kirjainta T painaa uudelleen.
- Seurausmoodin ollessa päällä, ohjelman vasemmassa yläkulmassa lukee ”Seuranta päällä”
- Seurantamoodin ollessa pois päältä, lukee samassa ruudussa ”Seuranta pois päältä” Seuraavassa kuvassa on esitetty moottorinohjausjärjestelmän näkymä tietokoneen ruudulla säädettäessä polttoaineen suihkutusaikaa. Aktiivinen tolppa kuvaa moottorin imusarjan painetunnistimen tietoa moottorin kuormitusasteesta. lukema 0,00 kuvaa kuormituksen olevan 100 % ja 0,50 kuvaa kuormituksen olevan 50 %. Ruiskutusaika ilmaisee polttoaineen suihkutusaikaa millisekunteina, seossuhde ilmaisee lambda-anturin tietoa polttoaineen ja ilman seossuhdetta. Lukema 1000 ilmaisee stökiömetristä seossuhdetta, lukemat alle 1000:n ilmaisee seoksen olevan rikkaalla ja lukemat yli 1000:n laihaa seosta. Kaasuläppä tiedon kohdalla lukema 100 ilmaisee kaasuläpän olevan täysin auki ja sen pienemmät luvut vastaavasti ilmaisevat pienemmästä aukeamasta. Sinisten tolppien alareunassa näkyvä lukema ilmaisee polttoaineen suihkutusaajan, ja sitä voidaan säätää ylös- ja alaspäin nuolilla suuremmaksi tai pienemmäksi.



- Sytytysennakon arvoa voidaan säätää I-välilehdillä samalla periaatteella. Esim. arvo 10 ilmaisee 10 asteen sytytysennakkoa. Seuraavassa kuvassa on esitetty näkymä tietokoneella säädettäessä sytytysennakon suuruutta. Sytytysennakko-kohta ilmaisee käytetyn suihkutuksen suuruuden asteina. Sitä voidaan säätää alas- ja ylöspäin nuolilla pienemmäksi tai suuremmaksi. Sinisten tolppien alareunassa esitetyt lukemat ilmaisevat kuinka suureksi ennako on säädetty. Lukema 0 keskellä säätötolppia on merkinä imusarjan ali- ja ylipaineen rajasta. Koska moottori on vapaasti hengittävä, ei lukemia yli 0,1 bar tarvitse huomioida nollakohdan oikealla puolella.



LIITE 5 8(8)

- Tutkitaan kuinka moottorin kuormitusasteen muutokset vaikuttavat antureiden signaaleihin. Tutkittavia signaaleita ovat moottorin imusarjan paineanturin signaali, suihkutussventtiilien magneettikäänin maadoitusajan pituus, lambda-anturin signaali, jäähdytysnesteen lämpötila-anturin signaali, sytytyspuolan ensiö- ja toisiojännitteen signaali ja pyörimisnopeusanturin signaali.
- Mittaukset voidaan tutkia esimerkiksi 25 %, 50 %, 75 % ja 100 % kuormituksella.
- Voidaan myös hyödyntää imusarjan paineanturin tietoa moottorin kuormitusasteesta, esimerkiksi suorittamalla mittaukset kuormitusasteilla, joilla anturin tieto on -0,8, -0,6, -0,4, -0,2 ja -0,1 bar.
- Tutkitaan moottorin vääntömomenttikuvaaajia pyörimisnopeusalueella 1500-3000 rpm.
- Tarkkaile myös kuinka muutokset vaikuttavat pakokaasujen lämpötilaan.

4. TYÖSELOSTUS

- Selvitä kuinka moottorinohjausparametrien arvot muuttuvat moottorin kuormitusasteen ja pyörimisnopeuden muuttuessa. Tarkkaillaan kuinka esimerkiksi suihkutussventtiilin aukioloaika kasvaa kuormituksen kasvaessa, kuinka lambda-anturin signaali muuttuu kuormituksen kasvaessa. Lisäksi tutkitaan kuinka sytytysjärjestelmän toiminnassa puolan varausaika ja sytytysjännitteen suuruus kasvaa moottorin kuormitusasteen kasvaessa.
- Selvitä kuinka moottorin tuottama vääntömomentti muuttuu pyörimisnopeuden ja kuormitusasteen muuttuessa, sekä kuinka tämä tarvitsee huomioida moottorinohjausjärjestelmän parametrien arvojen muuttuessa. Tutkitaan kuinka polttoaineen suihkutusaikaa tarvitsee muuttaa optimaalisen vääntömomentin saavuttamiseksi, ja kuinka paljon sitä voidaan kasvattaa ennen kuin vääntömomentti alkaa laskea ja moottorille syötetään liikaa polttoainetta.
- Tutkitaan kuinka sytytysennakon arvon muutos vaikuttaa moottorin tuottamaan vääntömomenttiin ja kuinka paljon sitä voidaan kasvattaa ennen kuin moottori alkaa nakuttaa.

5. MITTAUSLAITTEET

- Froude Consine Ltd EC 38 Dynamometri
- Texcel V4 ECE dynamometrin ohjain
- HP nc 6xxx kannettava tietokone oheislaitteineen.
- breakout-boksi ja oskilloskooppi anturien signaalien tutkimiseen

**02. POLTTOAINEEN OMINAISKULUTUKSEN JA
HYÖTYSUHTEEN MÄÄRITTÄMINEN**

1. TEHTÄVÄ

Työn tarkoituksena on perehtyä moottoritehdynamometrin käyttöön, sekä tutkia eri moottorinohjausparametrien vaikutusta moottorin polttoaineen kulutukseen ja hyötysuhteeseen.

Työn suoritettuaan opiskelija hallitsee moottoritehdynamometrin käytön, sekä ymmärtää moottorinohjaussäätöparametrien vaikutuksen moottorin polttoaineen kulutukseen. Opiskelija osaa myös tehdä polttoaineen ominaiskulutusdiagrammin, sekä määrittää moottorin hyötysuhteen kulutetun polttoaineen perusteella.

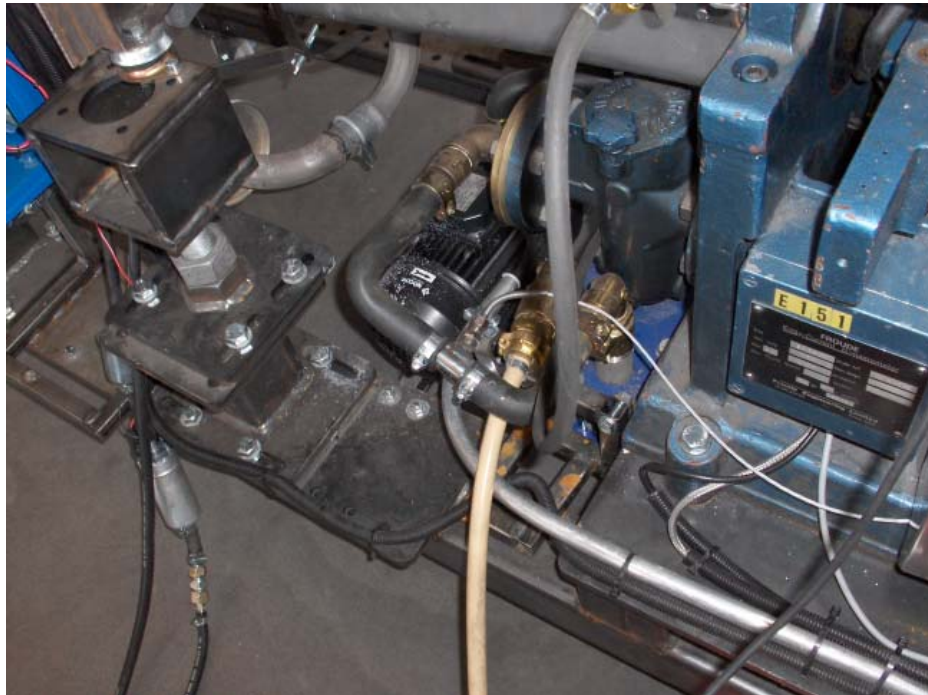
Työn suoritettuaan opiskelija on kykenevä työskentelemään työtehtävissä, jotka edellyttävät moottorin hyötysuhteen ja polttoaineen kulutuksen hallitsemista.

2. ALKUVALMISTELUT

1. Suorita tarkastukset turvallisuusohjeen mukaisesti.
2. Kytke laitteiston päävirtakaapeli sille tarkoitettuun voimavirtapistokeeseen. Pistokkeen yläpuolella on merkintä ”Moottoritehdynamometrin testauspistorasia”



3. Virtajohdon kytkemisen yhteydessä ohjausyksikkö käynnistyy automaattisesti. Odota kunnes se on käyttövalmis.
4. Kytke virta päälle virtalähteestä. Katkaisin on esitetty seuraavalla sivulla samassa kuvassa, jossa vesipumpun katkaisin on. Katkaisin on keltapunainen katkaisin kuvan oikeassa alakulmassa ja se sijaitsee virtalähteen sivulla.
5. Kytke laitteiston vesikierron tuloletku vesihanaan ja paluuletku viemäriin. Avaa vesihana



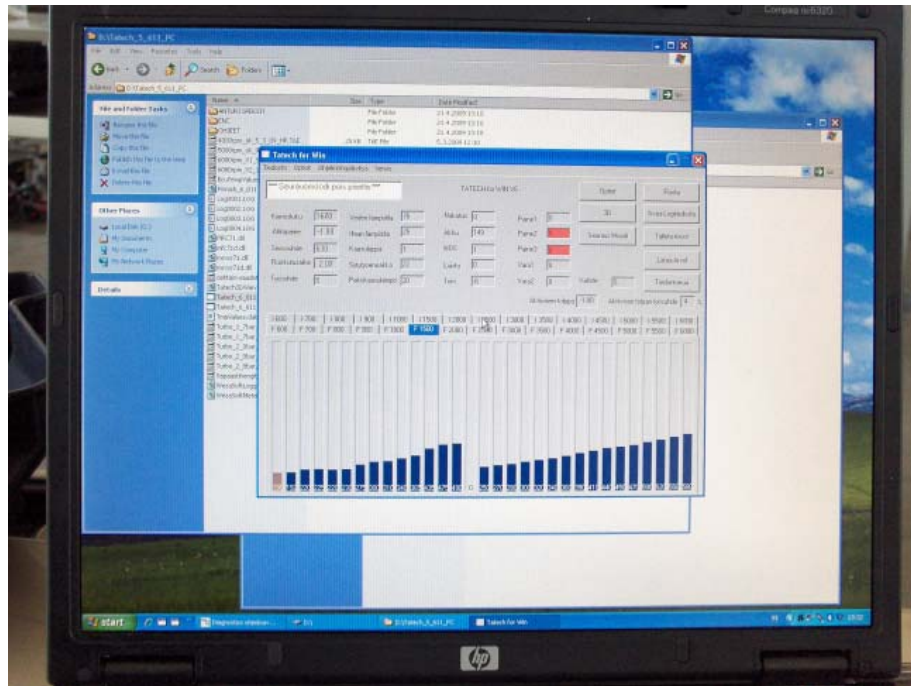
6. Käynnistä kiertovesipumppu. Vesipumpun katkaisin on esitetty seuraavassa kuvassa. Katkaisin on valkeassa rasiassa dynamometrin jäähdytysveden lämpömittarin alapuolella. Mustasta painikkeesta pumppu lähtee päälle ja sammuu punaisesta painikkeesta.



7. Laita pakokaasuimurin letku paikoilleen ja käynnistä imuri. **KÄYTETTÄVÄ EHDOTTOMASTI METALLISTA VÄLIKARTIOTA IMURIN LETKUN JA PAKOPUTKEN VÄLILLÄ!** Välikartio on esitetty seuraavassa kuvassa:



8. Avaa kannettavasta tietokoneesta TATECH for WIN v. 6.011 ohjelma, sekä kytke sarjakaapeli tietokoneen sarjaportin ja moottorinohjainlaitteen diagnoosipistokkeen välille.
9. Kytke sytytysvirta päälle edellisessä kuvassa esitetystä Ignition-katkaisimesta.
10. Näyttöön ilmestyy nyt ilmoitus ”lataa arvot ecu:sta”. Paina hiiren kursorilla ok-painiketta, jolloin ohjelma lataa moottorinohjausparametrien arvokartan koneelle.
11. Tietokoneen näytön tulisi näyttää samalta kuin seuraavassa kuvassa on esitetty.



12. Kuittaa fault-tila dynamometrin ohjausyksikön vihreästä painikkeesta.
13. Käynnistä moottori Start engine-painikkeesta.
14. säädä ohjainyksikön alemmalla potentiometrillä kaasuläpän aukeamaksi (TP) n. 20 % ja kytke ohjausyksikön run-ohjausmuoto päälle. Moottorin pyörimisnopeuden pitäisi nyt kohota 2000-3000 rpm:ään.
15. Aseta dynamometrin pyörimisnopeuspyynniksi (dyn) 1500-2000 rpm ohjausyksikön ylemmällä potentiometrillä.
16. Kytke dynamometrin speed-ohjausmuoto päälle. Tarkasta että dynamometrin ohjausyksikön valintapainikkeet on aktivoitu kuvan mukaisesti.

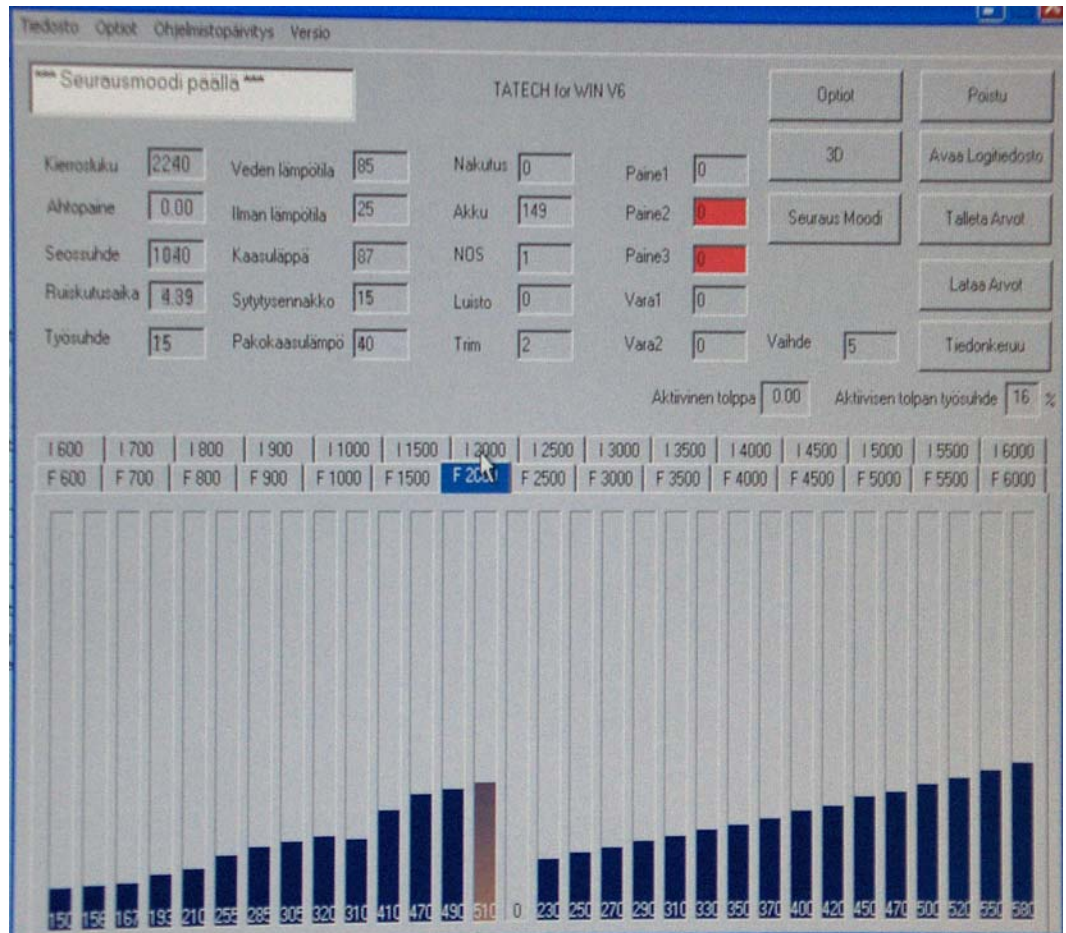


17. Odota kunnes moottorin jäähdytysnesteen lämpötila on noussut ja tasautunut 85°C:een
18. Kytke myös edellisessä kuvassa esitetty pakokaasujen lämpömittari päälle vihreästä on/off-painikkeesta. Kiertokytkimellä voit vaihtaa mitattavaa kanavaa. Kanava 1 on pakokaasujen lämpötila ennen katalysaattoria, kanava 2 katalysaattorin jälkeen ja kanava 3 on pakokaasujen lämpötila äänenvaimentimien välillä.

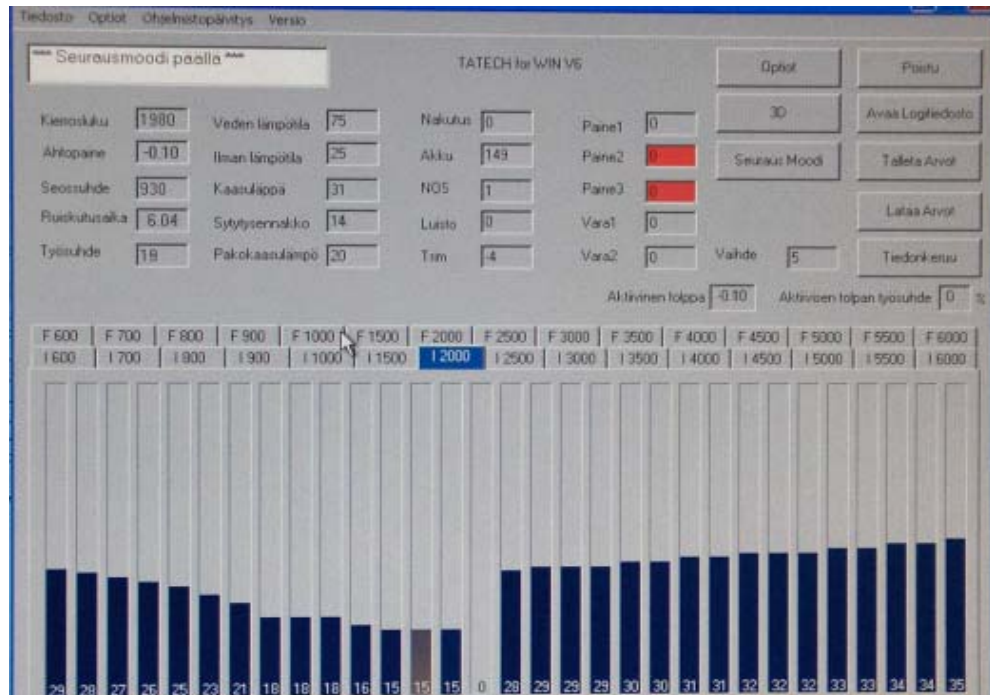
3. MITTAUKSET

Mittauksia suoritettaessa on ehdottoman tärkeää huomioida seuraavat rajoitukset:

- Käyntinopeus ei ylitä annettua 6000 rpm rajaa (moottorin ja dynamometrin välisten kytkentäosien hajoamisvaara)
- Moottoria säädettäessä vältetään suihkutusaajan ja sytytysennakon säätämistä sellaiseksi, että moottorissa esiintyisi nakutusta. (ilma-seossuhde tatech-ohjelman ilmoittamana suurempi kuin 1,2)
- Suihkutusaikaa saadaan säädettyä F-välilehdillä ylös-nuolella suuremmaksi ja alaspäin nuolella pienemmäksi. Arvo 100 ilmaisee suihkutusaajan olevan 1 ms.
- Esimerkiksi F1500-välilehdellä saadaan säädettyä suihkutusaikaa 1500 rpm pyörimisnopeusalueella.
- Painamalla näppäimistöä painiketta T, nähdään säätöarvo, jota moottorinohjaus käyttää kyseisellä hetkellä.
- Jotta arvoja päästään säätämään halutulla pyörimisnopeusalueella, tarvitsee kirjainta T painaa uudelleen
- Seurausmoodin ollessa päällä, ohjelman vasemmassa yläkulmassa lukee ”Seuranta päällä”
- Seurantamoodin ollessa pois päältä, lukee samassa ruudussa ”Seuranta pois päältä” Seuraavassa kuvassa on esitetty moottorinohjausjärjestelmän näkymä tietokoneen ruudulla säädettäessä polttoaineen suihkutusaikaa. Aktiivinen tolppa kuvaa moottorin imusarjan painetunnistimen tietoa moottorin kuormitusasteesta. lukema 0,00 kuvaa kuormituksen olevan 100 % ja 0,50 kuvaa kuormituksen olevan 50 %. Ruiskutusaika ilmaisee polttoaineen suihkutusaikaa millisekunteina, seossuhde ilmaisee lambda-anturin tietoa polttoaineen ja ilman seossuhdetta. Lukema 1000 ilmaisee stökiömetristä seossuhdetta, lukemat alle 1000:n ilmaisee seoksen olevan rikkaalla ja lukemat yli 1000:n laihaa seosta. Kaasuläppä tiedon kohdalla lukema 100 ilmaisee kaasuläpän olevan täysin auki ja sen pienemmät luvut vastaavasti ilmaisevat pienemmästä aukeamasta. Sinisten tolppien alareunassa näkyvä lukema ilmaisee polttoaineen suihkutusaajan, ja sitä voidaan säätää ylös- ja alaspäin nuolilla suuremmaksi tai pienemmäksi.



- Sytytysennakon arvoa voidaan säätää I-välilehdillä samalla periaatteella. Esim. arvo 10 ilmaisee 10 asteen sytytysennakkoa. Seuraavassa kuvassa on esitetty näkymä tietokoneella säädettäessä sytytysennakon suuruutta. Sytytysennakko-kohta ilmaisee käytetyn suihkutuksen suuruuden asteina. Sitä voidaan säätää alas- ja ylöspäin nuolilla pienemmäksi tai suuremmaksi. Sinisten tolppien alareunassa esitetyt lukemat ilmaisevat kuinka suureksi ennako on säädetty. Lukema 0 keskellä säätötolppia on merkinä imusarjan ali- ja ylipaineen rajasta. Koska moottori on vapaasti hengittävä, ei lukemia yli 0,1 bar tarvitse huomioida nollakohdan oikealla puolella.



- Mittaa polttoaineen kulutusta moottorin pyörimisnopeusalueella 1500-3000 rpm. Tutki kuinka polttoaineen suihkutusaajan muutokset vaikuttavat polttoaineen kulutukseen. Käytä mittausjakson aikana 30- tai 60 sekunnin aikajaksoa.
- Aloita mittaus kun moottorin kuormitustila on vakautunut ja lämpötilat pysyvät vakiona.
- Merkitse muistiin dynamometrin ohjainlaitteen näytöllä oleva moottorin teholumeka, jolla mittaus suoritetaan.
- Merkitse muistiin polttoaineen määrä grammoina mittauksen alussa ja esim. 60 sekunnin kuluttua.
- Laske polttoainemäärän erotus mittauksen alku- ja loppuhetken välillä.
- Laske paljon polttoainetta kuluisi samalla kulutuksella tunnin aikajaksossa.
- Laske polttoaineen ominaiskulutus jakamalla mittaushetken teho kilowatteina kulutetun polttoaineen määrällä kilogrammoina. Muunna lopuksi ominaiskulutus muotoon grammaa / kWh.
- Suorita mittaukset seossuhdealueella 0,8...1,15.
- Tutki kuinka sytytysennakon muutokset vaikuttavat polttoaineen kulutukseen. Käytä sytytysennakon arvoina 10-25 astetta.
- Tutki kuinka moottorin kuormitusaste vaikuttaa polttoaineen kulutukseen. Tutki vaikutusta imusarjan painealueella -0,3...0,8 bar.
- Tarkkaile myös kuinka muutokset vaikuttavat pakokaasujen lämpötilaan.
- Tutkimuksissa voit hyödyntää esim. seuraavan kaltaista taulukkoa, tarvittavat kaavat taulukon tekemiseen löydät esimerkiksi autoteknisestä taskukirjasta.

Taulukko polttoaineen kulutuksen tutkimiseen						
Pyörimisnopeus n [1/min]	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Vääntömomentti T [Nm]						125
Teho P [kW]						32,725
Polttoaineen suihkutusaika t [ms]						
Sytytysennakko asteina						
kuormitusaste map [0-1bar]	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0,0
polttoaineen kulutus [g/s]						2,3143
polttoaineen kulutus [kg/h]						8,3314
Ominaiskulutus be [kg/kWh]						0,2546
Ominaiskulutus be [g/kWh]						254,59
Hyötysuhde %						33,668

4. TYÖSELOSTUS

- Esitetään moottorin polttoaineen kulutuksen, hyötysuhteen ja moottorinohjausparametrien arvojen välinen yhteys.
- Selvitä kuinka sytytysennakon suuruus, polttoaineen suihkutusaika ja moottorin pyörimisnopeus sekä kuormitus vaikuttavat moottorin kuluttamaan polttoainemäärään ja hyötysuhteeseen
- Käytä apuna esimerkiksi edellisen kaltaista taulukkoa. Suositeltavaa on laatia yksityiskohtaisempi taulukko, jossa on esitettynä moottorin kuormitusaste välillä -0,9-0,0 bar imusarjan painetunnistimen tiedosta jokaiselle pyörimisnopeusalueelle.
- Edellistä taulukkoa tulee muokata siten, että pyörimisnopeudet muutetaan esim. arvoksi 2000 rpm ja sen alle merkitään imusarjan painetunnistimen tieto -0,9,-0,8,-0,6,-0,4,-0,2 ja -0,0 porrastuksella.
- Edellä kuvatun kaltaisia taulukoita laaditaan pyörimisnopeusalueelle 1000-3000 rpm, ja niiden perusteella laaditaan yhteenveto, kuinka moottorin polttoaineen ominaiskulutus vaihtelee kuormitusasteen ja pyörimisnopeuden muutosten funktiona.

5. MITTAUSLAITTEET

- Froude Consine Ltd EC 38 Dynamometri
- Texcel V4 ECE dynamometrin ohjain
- HP NC 6000-sarjan kannettava tietokone oheislaitteineen
- Bosch FSA 560 diagnostiikkakeskus
- Vaaka polttoaineen kulutuksen mittaamiseen

**03 . MOOTTORINOHJAUSJÄRJESTELMÄN
PARAMETRIEN ARVOJEN VAIKUTUS
PAKOKAASUPÄÄSTÖIHIN.**

1. TEHTÄVÄ

Työn tarkoituksena on perehtyä moottoritehdynamometrin käyttöön, sekä tutkia eri moottorinohjausparametrien arvojen vaikutusta moottorin tuottamiin pakokaasupäästöihin.

Työn suoritettuaan opiskelija hallitsee moottoritehdynamometrin käytön, sekä ymmärtää moottorinohjaussäätöparametrien vaikutuksen moottorin tuottamiin pakokaasupäästöihin.

Opiskelija osaa myös selvittää miten moottorin pyörimisnopeus ja kuormitus vaikuttaa pakokaasupäästöjen muodostumiseen. Opiskelija ymmärtää myös millaisilla moottorinohjausjärjestelmän parametrien arvoilla katalysaattori tehokkaimmin pienentää pakokaasupäästöjä ja kuinka moottorin kuormitusaste ja pyörimisnopeus vaikuttaa katalysaattorin toimintaan.

Työn suoritettuaan opiskelija on kykenevä toimimaan työtehtävissä, joissa vaaditaan moottorinohjausjärjestelmän säätötaitoa.

2. ALKUVALMISTELUT

1. Suorita tarkastukset turvallisuusohjeen mukaisesti.
2. Kytke laitteiston päävirtakaapeli sille tarkoitettuun voimavirtapistokeeseen. Pistokkeen yläpuolella on merkintä Moottoritehdynamometrin testauspistorasia



3. Virtajohdon kytkemisen yhteydessä ohjausyksikkö käynnistyy automaattisesti. Odota kunnes se on käyttövalmis.
4. Kytke virta päälle virtalähteestä. Katkaisin on esitetty seuraavalla sivulla samassa kuvassa, jossa vesipumpun katkaisin on. Katkaisin on keltapunainen katkaisin kuvan oikeassa alakulmassa ja se sijaitsee virtalähteen sivulla.
5. Kytke laitteiston vesikierron tuloletku vesihanaan ja paluuletku viemäriin.



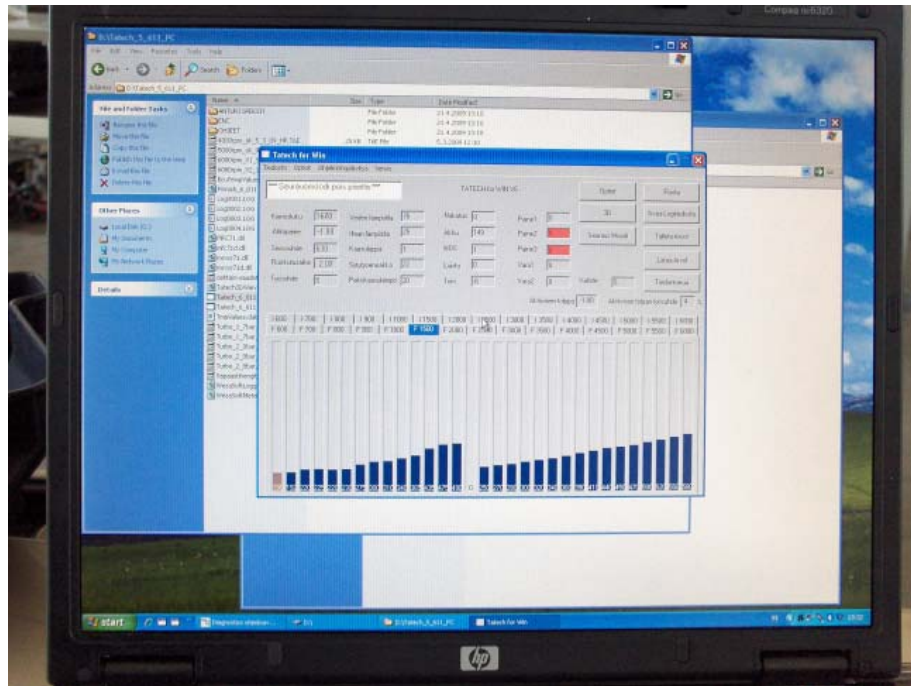
6. Käynnistä kiertovesipumppu. Vesipumpun katkaisin on esitetty seuraavassa kuvassa. Katkaisin on valkeassa rasiassa dynamometrin jäähdytysveden lämpömittarin alapuolella. Mustasta painikkeesta pumppu lähtee päälle ja sammuu punaisesta painikkeesta.



7. Laita pakokaasuimurin letku paikoilleen ja käynnistä imuri. KÄYTETTÄVÄ EHDOTTOMASTI METALLISTA VÄLIKARTIOTA IMURIN LETKUN JA PAKOPUTKEN VÄLILLÄ! Välikartio on esitetty seuraavassa kuvassa:



8. Avaa kannettavasta tietokoneesta TATECH for WIN v. 6.011 ohjelma, sekä kytke sarjakaapeli tietokoneen sarjaportin ja moottorinohjainlaitteen diagnoosipistokkeen välille.
9. Kytke sytytysvirta päälle edellisessä kuvassa esitetystä Ignition-katkaisimesta.
10. Näyttöön ilmestyy nyt ilmoitus "lataa arvot ecu:sta". Paina hiiren kursorilla ok-painiketta, jolloin ohjelma lataa moottorinohjausparametrien arvokartan koneelle.
11. Tietokoneen näytön tulisi näyttää samalta kuin seuraavassa kuvassa on esitetty.



12. Kuittaa fault-tila dynamometrin ohjausyksikön vihreästä painikkeesta.
13. Käynnistä moottori Start engine-painikkeesta.
14. Säädä ohjainyksikön alemmalla potentiometrillä kaasuläpän aukeamaksi (TP) n. 20 % ja kytke ohjausyksikön run-ohjausmuoto päälle. Moottorin pyörimisnopeuden pitäisi nyt kohota 2000-3000 rpm:ään.
15. Aseta dynamometrin pyörimisnopeuspyynniksi (dyn) 1500-2000 rpm ohjausyksikön ylemmällä potentiometrillä.
16. Kytke dynamometrin speed-ohjausmuoto päälle. Tarkasta että dynamometrin ohjausyksikön valintapainikkeet on aktivoitu kuvan mukaisesti.

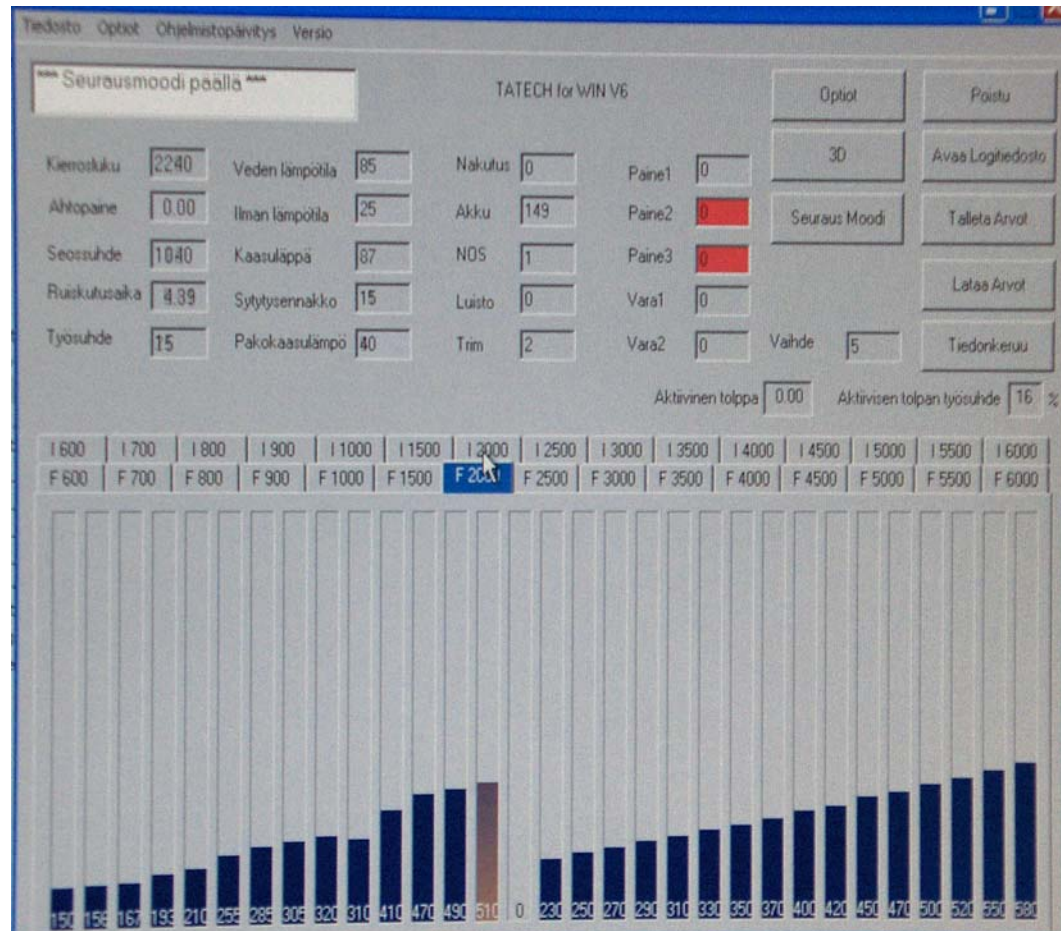


17. Odota kunnes moottorin jäähdytysnesteen lämpötila on noussut ja tasautunut 85°C:een
18. Kytke myös edellisessä kuvassa esitetty pakokaasujen lämpömittari päälle vihreästä on/off-painikkeesta. Kiertokytkimellä voit vaihtaa mitattavaa kanavaa. Kanava 1 on pakokaasujen lämpötila ennen katalysaattoria, kanava 2 katalysaattorin jälkeen ja kanava 3 on pakokaasujen lämpötila äänenvaimentimien välillä.

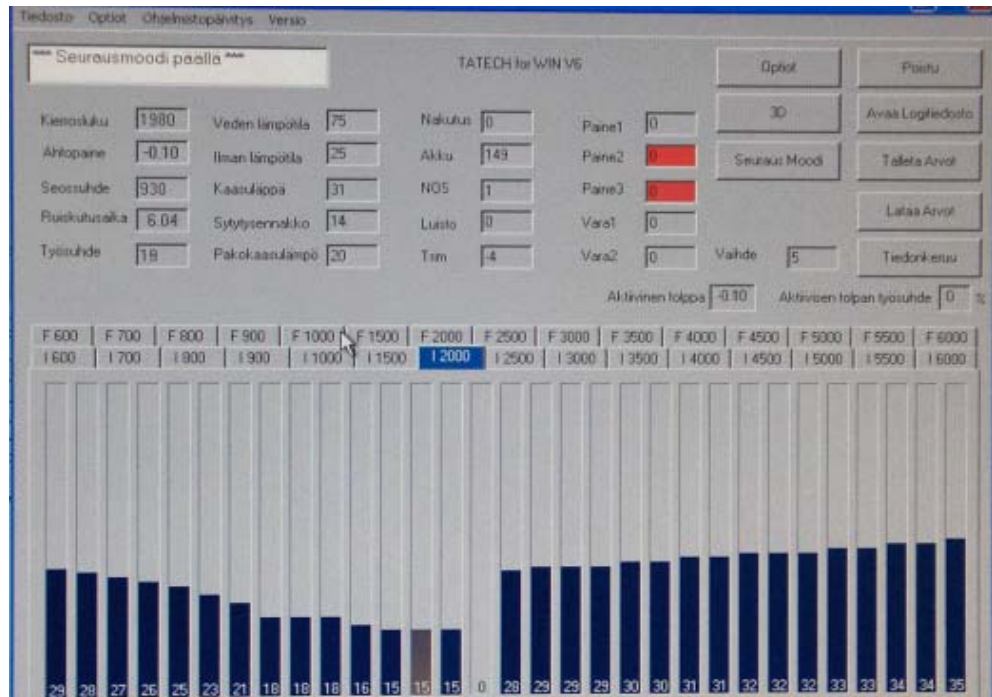
3. MITTAUKSET

Mittauksia suoritettaessa on ehdottoman tärkeää huomioida seuraavat rajoitukset:

- Käyntinopeus ei ylitä annettua 6000 rpm rajaa (moottorin ja dynamometrin välisten kytkentäosien hajoamisvaara)
- Liitteessä x esitettyä dynamometrin asettamaa rajamomenttia ei ylitetä (laitteiston rikkoutumisvaara)
- Moottoria säädettäessä vältetään suihkutusaajan ja sytytysennakon säätämistä sellaiseksi, että moottorissa esiintyisi nakutusta. (ilma-seossuhde tatech-ohjelman ilmoittamana suurempi kuin 1,2)
- Suihkutusaikaa saadaan säädettyä F-välilehdillä ylös-nuolella suuremmaksi ja alaspäin nuolella pienemmäksi. Arvo 100 ilmaisee suihkutusaajan olevan 1 ms.
- Esimerkiksi F1500-välilehdellä saadaan säädettyä suihkutusaikaa 1500 rpm pyörimisnopeusalueella.
- Painamalla näppäimistöä painiketta T, nähdään säätöarvo, jota moottorinohjaus käyttää kyseisellä hetkellä.
- Jotta arvoja päästään säätämään halutulla pyörimisnopeusalueella, tarvitsee kirjainta T painaa uudelleen.
- Seurausmoodin ollessa päällä, ohjelman vasemmassa yläkulmassa lukee ”Seuranta päällä”
- Seurantamoodin ollessa pois päältä, lukee samassa ruudussa ”Seuranta pois päältä” Seuraavassa kuvassa on esitetty moottorinohjausjärjestelmän näkymä tietokoneen ruudulla säädettäessä polttoaineen suihkutusaikaa. Aktiivinen tolppa kuvaa moottorin imusarjan painetunnistimen tietoa moottorin kuormitusasteesta. lukema 0,00 kuvaa kuormituksen olevan 100 % ja 0,50 kuvaa kuormituksen olevan 50 %. Ruiskutusaika ilmaisee polttoaineen suihkutusaikaa millisekunteina, seossuhde ilmaisee lambda-anturin tietoa polttoaineen ja ilman seossuhdetta. Lukema 1000 ilmaisee stökiömetristä seossuhdetta, lukemat alle 1000:n ilmaisee seoksen olevan rikkaalla ja lukemat yli 1000:n laihaa seosta. Kaasuläppä tiedon kohdalla lukema 100 ilmaisee kaasuläpän olevan täysin auki ja sen pienemmät luvut vastaavasti ilmaisevat pienemmästä aukeamasta. Sinisten tolppien alareunassa näkyvä lukema ilmaisee polttoaineen suihkutusaajan, ja sitä voidaan säätää ylös- ja alaspäin nuolilla suuremmaksi tai pienemmäksi.



- Sytytysennakon arvoa voidaan säätää I-välilehdillä samalla periaatteella. Esim. arvo 10 ilmaisee 10 asteen sytytysennakkoa. Seuraavassa kuvassa on esitetty näkymä tietokoneella säädettäessä sytytysennakon suuruutta. Sytytysennakko-kohta ilmaisee käytetyn suihkutusenakko suuruuden asteina. Sitä voidaan säätää alas- ja ylöspäin nuolilla pienemmäksi tai suuremmaksi. Sinisten tolppien alareunassa esitetyt lukemat ilmaisevat kuinka suureksi ennakko on säädetty. Lukema 0 keskellä säätötolppia on merkinä imusarjan ali- ja ylipaineen rajasta. Koska moottori on vapaasti hengittävä, ei lukemia yli 0,1 bar tarvitse huomioida nollakohdan oikealla puolella.



- Käytä pakokaasuanalysointia pakokaasupäästöjen suuruuden mittaamiseen ennen ja jälkeen katalysaattoria. Kytke mittaletku ennen katalysaattoria ja sen jälkeen sijaitseviin kuparisiin mittausputkiin
- Muuta polttoaineen suihkutusaikaa siten, että seossuhde vaihtelee välillä 0,80-1,15. Käytä pyörimisnopeusalueena 1500-3000 rpm:ää.
- Tutki kuinka sytytysennakon muutos vaikuttaa pakokaasupäästöjen suuruuteen. Käytä ennakkoa välillä 10-25 astetta.
- Tutki myös kuinka moottorin kuormitusaste vaikuttaa pakokaasupäästöihin.
- Tutki vaikutusta imusarjan painealueella -0,3...0,8 bar.
- Tarkkaile myös kuinka muutokset vaikuttavat pakokaasujen lämpötilaan
- Mittauksissa voit hyödyntää seuraavankaltaista taulukkoa:

Taulukko pakokaasupäästöjen tutkimiseen						
Pyörimisnopeus n [1/min]	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Vääntömomentti T [Nm]						
Teho P [kW]						
Polttoaineen suihkutusaika t [ms]						
Sytytysennakko asteina						
kuormitusaste map [0-1bar]	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	0,0
Lambda						
CO-arvo % ennen kat.						
HC-arvo ppm ennen kat						
O2 arvo ennen kat						
Nox arvo ennen kat						
Pakokaasujen lämpötila ennen kat						
Lambda						
CO-arvo % jälkeen kat.						
HC-arvo ppm jälkeen kat						
O2 arvo jälkeen kat						
Nox arvo jälkeen kat						
Pakokaasujen lämpötila jälkeen kat						

- Edellä kuvatun kaltaisia taulukoita laaditaan pyörimisnopeusalueille 1000-3000 rpm
- Taulukoiden perusteella laaditaan yhteenveto kuinka pakokaasupäästöt muuttuvat kuormitusasteen vaihteluiden mukaan, sekä millaisilla sytytysennakon ja polttoaineen suihkutusaajoilla moottori tuottaa vähiten pakokaasupäästöjä, sekä kuinka pakokaasupäästöjen vähentäminen vaikuttaa moottorin tuottamaan vääntömomenttiin ja tehoon.

4. TYÖSELOSTUS

- Esitetään pakokaasupäästöt polttoaineen suihkutusaajan ja pyörimisnopeuden funktiona
- Esitetään pakokaasupäästöt sytytysennakon ja pyörimisnopeuden funktiona
- Esitetään pakokaasupäästöt pyörimisnopeuden ja moottorin kuormituksen vaikutus pakokaasupäästöihin.
- Selvitä, kuinka moottorinohjausparametrien (sytytyksen ajoitus, polttoaineen suihkutusaika) muutokset ja moottorin pyörimisnopeus sekä kuormitus vaikuttaa moottorin tuottamiin pakokaasupäästöihin.

5. MITTAUSLAITTEET

- Froude Consine Ltd EC 38 Dynamometri
- Texcel V4 ECE dynamometrin ohjain
- HP nc 6xxx kannettava tietokone oheislaitteineen
- Bosch FSA 560 diagnostiikkakeskus